

מור-טק

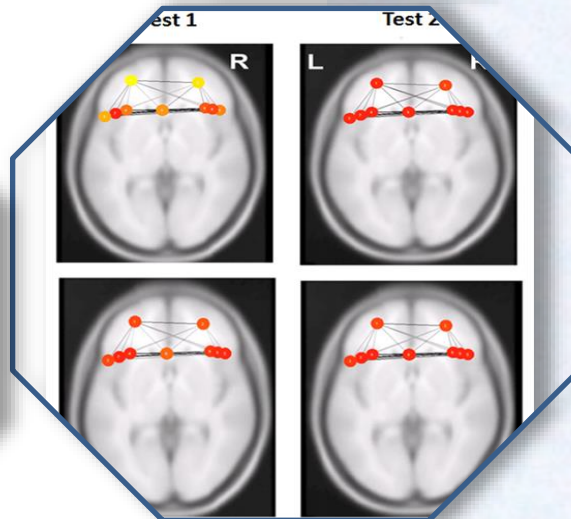
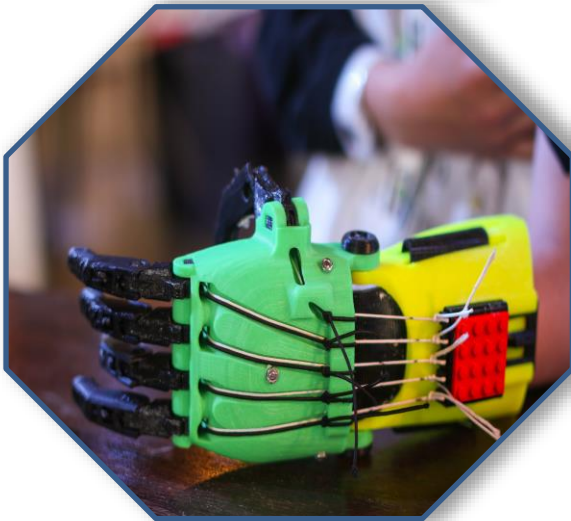
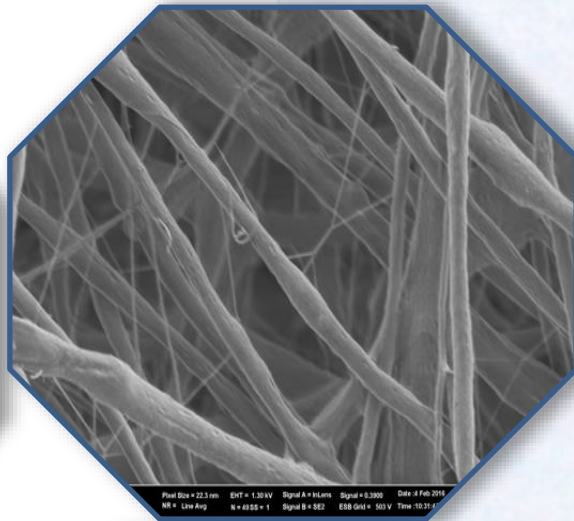
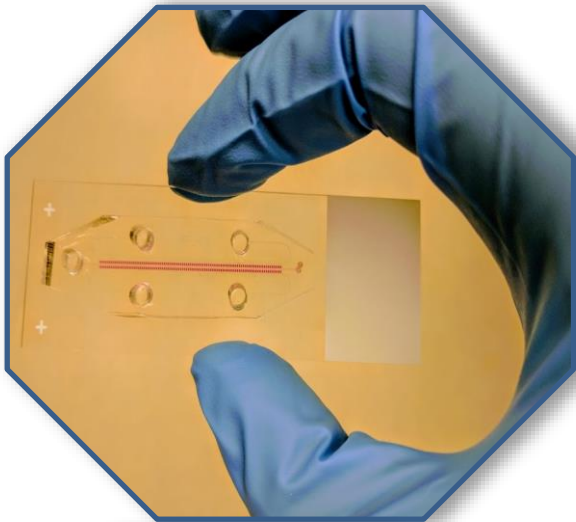


סיון תשע"ח, יוני 2018

13 א

13 ב

כתב העת של מרכז המוריס הארצי למורי המקצועות הטכנולוגיים מדעיים



הפקולטה לחינוך למדע
וטכנולוגיה
הטכניון



מינהלת מל"מ המרכז ישראלי
לחינוך מדעי טכנולוגי
ע"ש עמוס דה שליט



המינהל למדע וטכנולוגיה
משרד החינוך

© כל הזכויות שמורות למשרד החינוך

מרכז מורים ארצי למורי מורטק. הפרויקט מבוצע על ידי

מוסד הטכניון עפ"י מכרז 30/8.14

הפרויקט מבוצע עבור המזכירות הפדגוגית, משרד החינוך.

כתב העת "מורטק" יצא לאור במימון האגף למדעים במזכירות הפדגוגית ומינהלת מל"מ המרכז הישראלי לחינוך מדעי טכנולוגי.

אין לשכפל, להעתיק, לצלם, להקליט, לתרגם, לאחסן במאגר מידע, לשדר או לקלוט בכל דרך או אמצעי אלקטרוני, אופטי או מכני או אחר כל חלק שהוא מהחומר שבחברת זו. שימוש מסחרי מכל סוג שהוא בחומר הכלול בחוברת זו אסור בהחלט אלא ברשות מפורשת בכתב מהמו"ל.



הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה
הטכניון



מינהלת מל"מ המרכז הישראלי לחינוך מדעי טכנולוגי
ע"ש עמוס דה שליט



המינהל למדע וטכנולוגיה
משרד החינוך

לחברי וחברות מרכז המורים הארצי למקצועות טכנולוגיים, מור – טק שלום,

בגיליון הנוכחי של כתב העת מור – טק מוצגים מאמרים בנושאים של הכשרת מורים, כגון: המורה המוביל הגדרתו ומאפייניו, גורמי מוטיבציה בקרב מורי אלקטרוניקה, חשיבה יצירתית ומערכתית בקרב מורי מדעים, והוראת מחלקות. מאמרים אחרים דנים בתהליכי למידה וסביבות חדשניות, כגון: טיפוח חשיבה המצאתית-שיטתית והכוונה עצמית בלמידה, השקפות תלמידים על שימוש ב Jmol ומודלים מולקולריים בלמידה אודות חלבונים והערכת עמיתים בסביבת למידה מבוססת פרויקטים.

הגיליון הנוכחי מציג את האולימפיאדה הראשונה במגמת ביוטכנולוגיה שהתקיימה בטכניון, פברואר 2018. האולימפיאדה התקיימה בסימן 70 שנה למדינת ישראל, ובהובלתה של פרופ' איילת פישמן (יו"ר ועדת המקצוע לביוטכנולוגיה), ומפמ"רית ביוטכנולוגיה יהודית דסקלו. האולימפיאדה הינה תחרות המיועדת לתלמידי כתות י"ב, המתמחים בפרויקט הגמר "יישומים בביוטכנולוגיה" בהיקף של 5 יח"ל ואשר מסיימים בשנת הלימודים תשע"ח את עבודת הגמר. בתחרות זכו: חווה הרמן – מקום I, עמית רייכר – מקום II, ושי פרידמן – מקום III.

בפינת המורה המוביל שלי – מדברים מהשטח, ראינו שלושה מורים מובילים במגמה אלקטרוניקה – התמחות בירפואה, מבית הספר אורט חולון למנהיגות מדע וטכנולוגיה: אורלי לוי, ירון דורי ורותי קובלסקי. המורים דיברו על האתגרים בלימודי המגמה, הישגים מרשימים, עבודות גמר מובחרות וטיפים חשובים למורה מתחיל.

בסוף הגיליון, מוצג לקט של נגיעות מפיתוחי חוקרי ההנדסה בטכניון לשנת תשע"ח, כגון: טכנולוגיה חדשנית ליצירת רקמות לב מהונדסות להשתלה בלב פגום, מערכת חדשנית בשם AST-SNDA לזיהוי מקדים את מידת עמידות חיידק ספיציפי לאנטי-ביוטיקה ספיציפית לאבחון וטיפול יעילים יותר בזיהומים, המרכז הראשון בישראל לדימות מוחי בילדים עם הפרעות שונות – דיסלקציה, בעיות בעיבוד שמיעה וכו', פיתוח ידיים ביוניות וידיים תותבות בעזרת הדפסה בתלת ממד.

לסיום, ניתן להתעדכן באתר המרכז לגבי הפעילויות שלנו ונשמח לקבל את המשוב שלכם בהקדם. מורים אשר ערכו בבתי הספר פעילויות מעניינות, כמו סיורים, תחרויות, או כנסים, ורוצים לשתף את קהילת המורים -מוזמנים ליצור קשר עם המערכת בהקדם, כדי שנוכל להוציא לאור את הדברים בגיליון הבא.

קריאה מהנה ונעימה
המערכת

עורכת אחראית:

ד"ר אמונה אבו-יונס עלי, מנהלת מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים, מורטק

חברי/ות המערכת:

פרופ' יהודית דורי, דיקנית הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון

פרופ' מרים ברק, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון

ד"ר אהרון גרו, ראש המסלול להוראת הנדסת חשמל ואלקטרוניקה, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון

ד"ר אהרון שחר, מנהל אגף (מגמות מדעיות הנדסיות), מינהל מדע וטכנולוגיה. מפמ"ר "מדע וטכנולוגיה לכל" בנתיב הטכנולוגי, משה"ח

יועצת אקדמית:

פרופ' איילת פישמן, הפקולטה להנדסת ביוטכנולוגיה ומזון, הטכניון

מזכירת המערכת:

גב' תמר מלר, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון
טל': 04-8292471

כתובת המערכת:

מרכז מורים ארצי למקצועות הטכנולוגיים
מדעיים-מורטק, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה
קרית הטכניון
חיפה 32000

moretech@ed.technion.ac.il

[/https://moretech.net.technion.ac.il](https://moretech.net.technion.ac.il)



הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה הטכניון



מינהלת מל"מ המרכז ישראלי לחינוך מדעי טכנולוגי ע"ש עמוס דה שליט



המינהל למדע וטכנולוגיה משרד החינוך

תוכן עניינים

הכשרת מורים

- המורה המוביל – קווים לדמותו, אפרת אקירי וד"ר ניצה ברנע 5
- ניתוח גורמי המוטיבציה של מורים לאלקטרוניקה: המקרה של מכללה טכנולוגית, ד"ר אהרון גרו ושי מנו-ישראלי 15
- חשיבה מערכתית בקרב מורים למדעים: שימוש בתוכנה ליצירת מודלים רעיוניים של מאמרים מחקרניים, רע לביא, פרופ' יהודית דורי ופרופ' דב דורי 19
- הוראת מחלקות – החוליה החסרה, זאב בנקבצ'ר 25

תהליכי למידה וסביבות חדשניות

- טיפול חשיבה המצאתית-שיטתית (SIT) והכוונה עצמית בלמידה (SRL) בתהליכי איתור תקלות ופתרון בעיות בקרב מומחים בתעשייה, ד"ר דוד אלברט ופרופ' משה ברק 35
- השקפות תלמידים על שימוש ב-Jmol ועל התבוננות במודלים מולקולריים במסגרת למידה אודות חלבונים, אוהד לבקוביץ, פרופ' ענת ירדן 47
- הערכת עמיתים בסביבת למידה מבוססת פרויקטים: פיתוח משובים ברמת חשיבה גבוהה, מאיה אושר ופרופ' מירי ברק 53
- אולימפיאדת הביוטכנולוגיה ה-I, יהודית דסקלו 60
- המורה המוביל שלי - מדברים מהשטח, ד"ר אמונה אבו-יונס עלי 62
- נגיעות ממחקרים מובילים בטכניון בשנת 2018, דוברת הטכניון 66

המורה המוביל – קווים לדמותו

אפרת אקירי וד"ר ניצה ברנע
הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

תקציר

מאמר זה מנסה להגדיר את המושג מורה מוביל, מאפייניו ומשמעותו. מאפייני המורה המוביל כוללים ידע רב בתחום התוכן, יכולת מנהיגות, תכנון וארגון, והנהגת תרבות למידה בכיתה. מורה מוביל יכול להוות חוליה מקשרת בין תכניות פיתוח חדשניות לבין התלמידים בכיתה. מודלים שונים להתפתחות מקצועית נסקרים ומתייחסים להתפתחותו של המורה המוביל. מורים מובילים צומחים מהשטח באופן אינטואיטיבי, בעזרת תכניות הכשרה שונות השתלמויות, חונכות לסטודנטים ומורים חדשים, השתתפות בפיתוח חומרי למידה וקהילות מורים שונות. מורים המגיעים להוראה כקריירה שניה עם ניסיון רב מהשטח יכולים לנצל ידע רב ולהוביל תהליכים במערכת. במאמר מוצגים האתגרים והקשיים שאיתם מתמודד מורה מוביל וסיפורים מהשטח.

מורה מוביל

נכון להיום בישראל אין הגדרה אחת וחד משמעית להגדרה מורה מוביל. עם זאת, המושג נפוץ ונמצא בשימוש במשרד החינוך ובמקומות נוספים. באנגלית, מושגים מקבילים הם Exemplary teacher או Master teacher. לרוב המושג מתייחס למורה שמקדם את הלמידה וההוראה בבית הספר, הן מבחינת התלמידים והן מבחינת המורים שסביבו.

בקול קורא של משרד החינוך למנהלי בתי ספר, מורה מוביל מוגדר כמורה שבכוחותיו להיות מנהיג של מצוינות בהוראה ובחינוך, בעל ידע נרחב בתחומי תוכן והוראה, מומחה בפדגוגיות ובעל כישורי הנהגה והובלה, מורה המעוניין לפעול לפיתוח היכולת המקצועית של עמיתיהם המורים. באגף לפיתוח מקצועי לעובדי הוראה במשרד החינוך יש חזון שמתייחס לשדרה של מורים מובילים שתנחה תהליכי פיתוח מקצועי מתמשכים של עמיתים בבתי ספר. במכון מופת מציעים קורס הכשרה למנחי מורים מובילים המיועד לאנשי חינוך מנוסים המעוניינים להנחות תהליכים של פיתוח מורים מובילים וקידום מנהיגות מורים בקרב קבלת המורים.

משרד החינוך פרסם מרכז מרכז המורים למקצועות טכנולוגיים שבו הוגדרה המטרה להקמת המרכז: ליישם את יעדי משרד החינוך בהוראת המתמטיקה, המדעים והטכנולוגיה להכשיר ולטפח מורים מובילים ואת כלל המורים. במרכז הוגדרו מורים מובילים: מדריכים, רכזי מקצוע, מנחים (מורים בכירים המעבירים השתלמויות מורים ו/או השתלמויות מדריכים), מורים בכירים וראשי תחומים במרכזי פסגה. אחת ממטרות המרכז היא לייצר משאב לפעילויות לפיתוח מקצועי בעזרת הידע המקצועי והפדגוגי המצטבר במרכז המורים ובקרב בוגרי הקורסים שמהווים מנהיגות מורים. (מכרז 30/8.14 המזכירות הפדגוגית, משרד החינוך, עמ' 6-8).

מהגדרות אלו ניתן ללמוד על מהות המורה המוביל. הכוונה למורה אשר רכש מומחיות ויכולת מנהיגות, וככזה מוביל אחריו מורים נוספים להתפתחות מקצועית והטמעת תהליכי למידה. מורה שהוא מנהיג, שרואה בהוראה ובהתפתחות המקצועית שלו ושל עמיתיו שליחות. מורים מובילים משפיעים על התלמידים, קהילות המורים ותהליכים שונים בתי הספר ובמערכת החינוך.

מורים מובילים יכולים לתרום בצורה משמעותית להתפתחות המורים בסביבתם ולהוות חוליה המקשרת בין גורמים ותכניות פיתוח שונות לבין המורים בבית הספר. עם זאת, מורים עשויים לחוש חשדנות, ספק ותחושת ביקורת מצד המורה המוביל. ראוי להתייחס לסוגיה זו ולאופן שבו המורה המוביל מבסס את יחסיו, דרכי הפעולה וההצגה שלו כלפי המורים במערכת. הצלחה של מורה מוביל תלויה בתרבות בית הספר, מערכת היחסים שלו עם עמיתיו ובמבנה הארגוני והתמיכה של בית הספר בתהליכי הפיתוח (שטרלינג, 2016).

מאפייניו של המורה המוביל

על פי הגדרת ממשלת בריטניה שמפורט בסטנדרט המתייחס למורה המוביל, מאפייניו כוללים בין היתר:

- הבנה מעמיקה של ידע תוכן בתחום ההתמחות, מעבר לתכנית הלימודים הרלוונטית;
- שליטה על הכיתה, מנהיגות חכמה המעודדת ומפתחת את התלמידים;
- כבוד כלפי התלמידים וההורים;
- תכנון וארגון מעולה של הלימודים כך שהתלמידים מוכנים לסוגי הערכות שונים;
- תרבות למידה מעוררת חשיבה תוך כבוד הדדי ונימוס בכיתות;
- הערכה עמוקה מצד עמיתים השואפים ללמוד ממנו.

מורה מוביל הוא בעל תפקיד בפיתוח מדיניות בית הספר ופעיל ברשתות מקצועיות מעבר למסגרת הבית ספרית. הוא מעודד דור חדש של מורים לפתח אסטרטגיות חדשניות לשיפור הלמידה, כך שכל אדם צעיר יהיה מודע לטווח האפשרויות הרחב הגלום בפוטנציאל שלו. בכיתות של תלמידים שגילו גישה חיובית כלפי מדעים יותר מאשר בכיתות אחרות זיהו מאפייני מפתח. להלן המאפיינים שתלויים במורים (Wilson & Mant, 2011):

- המורים טובים בהסברים;
- התלמידים מתנסים בתרגול מעשי ונהנים מביצוע ניסויים;
- המורים מעודדים לחשיבה ודיון;
- נושא המדעים מקושר לחיי היום יום.

מדריכים פדגוגים, מרכזי מקצועות, ראשי תחומים, מורים המעבירים השתלמויות, מורים חונכים – כל אלו הינם מורים אשר מתוקף תפקידם מובילים אחריהם מורים נוספים. עם זאת, מורה מוביל לא חייב להיות בהכרח בעל תפקיד רשמי. מורה מוביל הוא דמות כריזמטית שצומחת מהשטח. זה יכול להיות אותו המורה שמכניס שיטת הוראה או הערכה חדשנית או המורה שבאופן טבעי המורים החדשים יתרכזו סביבו וייעזרו בו. זהו גם המורה שסוחף אחריו תלמידים ומהווה להם דוגמה ומודל לשאוף אליו, בין אם בעזרת שיטות הוראה חדשות, טכנולוגיות חדשניות, מאפייני אישיות או דרך אחרת. מורה כזה, מעבר להוראת חומר הלימוד מהווה השראה לתלמידים ולסובבים אותו. השפעתו על הסביבה נובעת מעצם האינטראקציה שלו עם האנשים.

מודלים להכשרה של מורים מובילים

פעמים רבות התפתחות של מורה מוביל מתרחשת בצורה לא מתוכננת מתוך תשוקה ומחויבות למקצוע (מורים מובילים במתמטיקה ומדעים, שיחות עם אנשי חינוך על המצוי, הרצוי ומה שביניהם. דו"ח קרן טראמפ). שלושה גורמים המשפיעים על ההתפתחות של מורים מובילים הם: התפתחויות מקצועיות שתורמות ליכולות של המורים להבחין ולהבין את התפתחות התלמידים, תמיכת עמיתים או רשת חברתית מקצועית ותחושה של אוטונומיה תוך מתן תמיכה וגיבוי של המערכת (Gabriel, Day & Allington, 2011).

הדרך בה מורים מובילים תורמים להתפתחות תלמידיהם משלבת שלוש צורות של ידע:

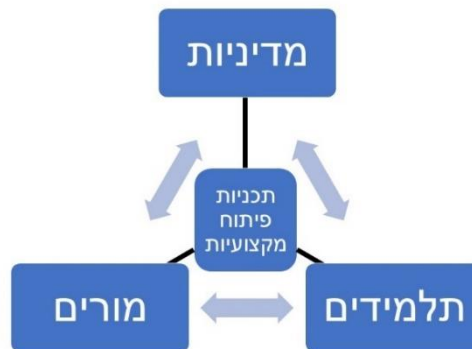
- ידע מקצועי הכולל ידע תכן, ידע על תכניות לימוד וידע פדגוגי.
- הבנה ביחסים בין אישיים, כולל מערכות יחסים עם תלמידים, קהילת החינוך והקהילה המקומית.
- ידע תוך אישי, כלומר, יכולת רפלקציה, אתיקה והבנה של הטיות ודעות מוקדמות.

פיתוח ושילוב שלוש סוגי הידע מאפשר למורים להבנות את האווירה הפיזית, החברתית והאינטלקטואלית בכיתה בצורה שתאפשר את התפתחות התלמידים והכנתם לא רק לקראת המבחן, אלא לחיים (Collinson, 1996). ניתן לראות את הקשר בין הגורמים התורמים להתפתחות המורים לבין ידע המורה התורם להתפתחות התלמידים. השתלמויות מקצועיות תורמות לידע המקצועי של המורה. חיבור לרשת חברתית ותמיכת עמיתים תלויה בידע החברתי הבין-אישי של המורה ותחושת האוטונומיה קשורה ליכולות התוך-אישיות של המורה. יש דיאלוג מתמשך בין ההתפתחות המקצועית של מורה לבין יכולותיו לתרום לסביבה.

מודלים של התפתחות מקצועית

כדי להבין את תהליך ההתפתחות של מורה בכלל ומורה מוביל בפרט, נבחן מספר מודלים של צמיחה מקצועית:

החוקרים Luft & Hewson (2014) סקרו מגוון מחקרים שעסקו במסגרות התפתחות מקצועית (השתלמויות) של מורים בתחומי המדעים והציעו מודל למחקר ולפיתוח השתלמויות. על פי המודל, ההשתלמות צריכה להיבחן בהתייחס לקשר שבין מדיניות (policy), תכניות הפיתוח, מורים ותלמידים. כפי שמוצג באיור 1:



איור 1: מודל למחקר התפתחות מקצועית של מורי מדעים, כפי שהוצג במאמרם של Luft & Hewson (2014)

על פי חוקרים אלו יש להתרכז לא רק בהשתלמויות ובמורים המעורבים בהם, אלא גם במערכת שבה משתלבת ההשתלמות. מורה מוביל יכול לייצר את החיבור הזה – מצד אחד להוביל השתלמויות ותוכניות פיתוח ומצד שני להוות ציר מחבר למערכת שבה נמצאים המורים ולתרום לקשר בין הגורמים השונים.

על פי המודל, מרכיבי השתלמויות מורים החיוניים לצמיחה מקצועית הם:

- שילוב תמיכה מספקת בכדי לאפשר שינוי אצל המורים;
- יצירת הזדמנויות לשיתופי פעולה;
- מיקוד בידע תכני;
- תכנית השתלמות קוהרנטית.

החוקרים Bell & Gilbert (1994) הציגו תיאוריה של צמיחה מקצועית אצל מורים שמתייחסת לשלושה ממדים: הממד האישי, הממד המקצועי והממד החברתי. בכל אחד מהשלבים מוצגות 3 רמות של התפתחות. בממד האישי הצמיחה מתחילה בזיהוי מרכיב בהוראה שעשוי להיות בעייתי, מתקדמת לשלב התמודדות המורה עם אילוצים ומגיעה לתחושת העצמה אישית. בממד המקצועי, ההתפתחות ברמה הנמוכה כוללת התנסות בפעילויות חדשות, ממשיכה לפיתוח רעיונות ופרקטיקות בהוראה ובשלב המתקדם המורה יוזם פעילויות להתפתחות. בממד החברתי הרמה הבסיסית בשלבי ההתפתחות היא זיהוי מצב של בידוד כבעייתי, הרמה השנייה כוללת הערכה של דרכים לשיתופי פעולה והרמה הגבוהה כוללת יוזמות של שיתופי פעולה (איור 2).

התפתחות אישית: התייחסות לרגשות	התפתחות מקצועית: פיתוח רעיונות ופעולות	התפתחות חברתית: פיתוח דרכים משותפות להתייחס למורים אחרים
--------------------------------	--	--



איור 2: מודל התפתחות של מורים, כפי שהוצג במאמרם של Bell & Gilbert (1994)

דוגמא להשתלמות כתורמת להתפתחות מורים מובילים אפשר לראות במחקרם של Hofstein, Carmi & Ben-Zvi (2003) שמציגים השתלמות שנועדה למורי כימיה. מטרת ההשתלמות היתה להפוך מורי כימיה למורים מובילים אשר יטמיעו רפורמות בתכנית הלימוד במערכת החינוך ובבתי הספר, ובפרט את יישום תכנית "מחר 98". ההשתלמות נערכה במשך שנתיים, כאשר השנה הראשונה התמקדה בידע תכני ובידע פדגוגי והשנה השנייה התמקדה בפיתוח מיומנויות הובלה והנהגה של המורים. המודל של בל וגילברט (1994) בא לידי ביטוי בשלושת הממדים. הממד האישי – פיתוח תפיסות, אמונות (beliefs) ויכולות מנהיגות בקרב המורים. הממד המקצועי – שימוש במיומנויות הוראה, ידע תכני וידע פדגוגי. הממד החברתי – היכולת לעבוד עם אחרים במערכת החינוך בדרכים חדשות.

כלים להתפתחות של מורים מובילים

ישנן דרכים שונות שבעזרתן ניתן להתפתח כמורים מובילים. המשותף להן הוא עבודה עם אנשים נוספים, למידה ותהליכי רפלקציה על ההוראה שמקדמים את ההבנה העצמית של תהליכי ההוראה.

הכשרות מקצועיות הינן אחת מהדרכים התורמות להתפתחות, במיוחד כשמדובר בהכשרות לתפקידים כמו מדריך פדגוגי, רכז מקצוע או רכז שכבה, חונכות של מורים חדשים ומורה מכשיר במסגרת אקדמיה-כיתה הנערכות לאורך זמן (Aspfors & Fransson, 2015; Dori & Herscovits, 2005).

בעבר התקיימו השתלמויות למורים מובילים במרכזי המורים הארציים לפיסיקה, ביולוגיה, כימיה, מדעים ומתימטיקה. במסגרת ההשתלמות למורים מובילים המורים רכשו כישורי הנחיה ומנהיגות, וכן התמקצעו בהוראת המקצוע תוך היכרות עם דרכי הוראה והערכה חדשניות, ופיתוח חומרי למידה תואמים.

מורים שהשתתפו בהשתלמויות אלו בתחום הכימיה היו תמיד הראשונים שהיו מוכנים להשתתף כמורים נסיינים בתכנית הלימודים החדשה בכימיה, מעבדת החקר ודרכי ההערכה החלופיות. מורים אלו בבית ספרם השפיעו על כל הצוות והיו "נחשונים". המשובים שהתקבלו מהם במהלך הניסוי

היו משמעותיים וסייעו לשיפור חומרי הלמידה ולהובלת הרפורמה בלימודי הכימיה (Avargil, Herscovitz, & Dori, 2013).

הרבה מבוגרי ההשתלמויות האלו מצאו עצמם בתפקידים בכירים בבית הספר, כרכזי תחום מדעים, רכזי תכניות חדשניות ועוד. חלק גדול מהם השתלבו כמדריכים מחוזיים, או כמובילים השתלמויות במרכזי המורים הארציים ועד לתפקידים במכללות ובאוניברסיטאות להכשרת מורים. גם המפמ"ריות הנוכחיות לכימיה ולביולוגיה השתתפו כל אחת בתחומה בהשתלמות מורים מובילים,

במסגרת שנת הסטאז' ותמיכה במורים חדשים בשנותיהם הראשונות, מורה מתחיל מצוות לחונך האמור לתמוך בו בשנה הראשונה במפגשים שבועיים. במסגרת החונכות מעבר למפגשים השוטפים, החונך מעריך את המורה החדש על סמך המפגשים ותצפיות בשיעורים שהמורה החדש מעביר. הערכת החונך הינה חלק מהשיקולים המרכיבים את ההחלטה האם המורה החדש זכאי לקבל את רישיון ההוראה שלו.

ישנם מחקרים המתייחסים לצמיחה המקצועית של החונכים כתוצאה מתהליך החונכות. חונכים מתפתחים ולומדים כאשר הם מסבירים את שיטות ההוראה שלהם למורים החדשים, בחשיפת העקרונות העומדים בבסיס שיטות ההוראה שלהם וכאשר הם נחשפים לידע ולנקודת המבט של המורים החדשים (Aspfors & Fransson, 2015; Fairbanks, Freedman & Kahn, 2000). החשיפה של מורה חונך המשתתף במסגרת פרקטיקום וליווי של מורי המורים מעודדת אותו להצליח לבצע את תפקידו בצורה אפקטיבית עבורו ועבור המורה החדש (Simpson, Hastings & Hill, 2007).

לא כל תהליך חונכות מצליח. מסגרת החונכות מאגדת בתוכה שני אנשים לפחות, כל אחד מהם בעל רקע, אמונות ומאפיינים שונים. בנוסף, המערכת הבית ספרית, וגורמים רבים נוספים משפיעים על המורים והצלחת תהליך החונכות. גורמים אלו כוללים התאמה בתחום התוכן ושכבות הגיל שהמורים מלמדים, מידת הזמינות של המורים לחונכות, ההכשרה של החונך ומאפיינים אישיותיים. עם זאת, לחונך יש שליטה והשפעה רבה על מידת ההצלחה של התהליך המשותף. יצירת יחסים שבהם יש שיתוף פעולה המתבסס על הקשבה וזיהוי הצרכים והקשיים של המורה החדש תלויים ביכולות, בניסיון, בידע ובכישורי ההנחה של החונך. איכות החונכות מקרינה גם על יכולת המורה החדש לעשות רפלקציה ולשפר את שיטוח ההוראה שלו (Bradbury & Koballa, 2008; Fairbanks, Freedman & Kahn, 2000; Stanulis, 1995).

נמצא כי כאשר המורים מעורבים בפיתוח חומרי הלמידה יש סיכוי רב יותר ששילוב החומרים החדשים לקידום רפורמות בחינוך יצליחו (Barnea, Dori, & Hofstein, 2010; Van Driel, Beijaard, & Verloop, 2001).

מאגרי מידע הזמינים לכלל קהילת המורים בתחום, מקדמת את המקצוע ומאפשרת למורים ללמד חומרי הוראה בצורה מגוונת ומעניינת. פיתוח החומרים שנעשה במסגרת השתלמויות או באופן עצמאי על ידי המורים מאפשר את עדכון המאגרים בחומרים איכותיים ורלוונטיים. קהילת מורים לומדת יכולה לייצר מאגר מידע בתחום התוכן הרלוונטי. מעבר לכך, השתתפות בקהילת מורים מאפשרת הזדמנות להדהד רעיונות ולהעצים את המורים. התמיכה ההדדית מחזקת את הביטחון המקצועי של המורים ומעודדת אותם לבצע שינויים בדרכי ההוראה שלהם (Dogan, Pringle & Rhodes & Beneicke, 2002; Mesa, 2016).

קהילת מורים עוזרת במיוחד למורים חדשים שניצבים לבד ומנסים לשרוד. שיתוף פעולה בין קולגות יכול להקטין את הנשירה ולתמוך בהשתלבות של המורים החדשים במערכת. תכניות סטאז' שונות הראו שהתכניות המוצלחות ביותר כללו הזדמנויות למורים מנוסים וחדשים ללמוד ביחד באווירה תומכת הכוללת זמן לרפלקציה, שיתוף פעולה והסתגלות לתרבות ההוראה (Howe, 2006). גם למורים ותיקים, קהילת מורים מהווה בסיס חברתי תומך למורה הנמצא פעמים רבות בודד בשטח.

מרכז מורטק הינו מרכז מורים התומך בהתפתחות מקצועית של מורים מובילים בתחום הטכנולוגיה ומהווה בסיס של קהילת מורים על ידי מפגש של מורים וצוותים העוסקים בתחומים הטכנולוגיים-מדעיים ברחבי הארץ.

מורים המגיעים למערכת החינוך עם ניסיון קודם מהתעשייה, הצבא, מערכות רפואיות או עבודה קודמת המקנה להם בטחון, השכלה רחבה וניסיון חיים תורמים לידע שהמורה מביא לבית הספר. החל מתחום התוכן, המשך בשיטות הוראה וניהול ועד ליצירתיות ופיתוח רעיונות ויוזמות חדשות בבית הספר ובמערכת החינוך. למורה כזה יש הזדמנות ליישם את הידע הרב שהוא מביא אתו מחוץ למסגרת החינוכית וליישם אותה.

עם זאת, לעיתים מורים חדשים המגיעים מלאי מוטיבציה ורצון לתרום ולחולל שינוי מעוררים התנגדות רבה. בכדי להצליח לחולל שינוי רצוי להפחית את ההתנגדות על ידי למידה והבנה של המצב הקיים ולנסיבות היווצרותו ורק אז ליזום שינויים.

יש לראות את ההוראה כעיסוק רפלקטיבי הכולל חקירה של המורים את עבודתם. פעילות רפלקטיבית מערבת את המורים בחשיבה ביקורתית על עצמם. מורה שחוקר את עצמו מנסה באמצעות המחקר לזהות בעיות בעבודתו, להבין אותן ולהתמודד עמן. מחקר פעולה הוא מחקר עצמי, המלווה בתהליך רפלקטיבי משמעותי שעובר המורה תוך כדי התהליך עצמו (צ'רמאייר, 2008; 2011).

במחקר פעולה מורים חוקרים את ההוראה שלהם בעזרת פעולות שמתבצעות בכיתה. מורים מזהים בעיה או מגדירים נושא אותו הם רוצים לבדוק ובעזרת פעולה מתאימה מנסים להתמודד עם הסוגיה. את תוצאות הפעולה הם מודדים בכלים מחקרים. למורים יש שליטה על הפעולה שהם בוחרים ליישם. ביצוע מחקר פעולה עם קולגות תורמת להתפתחות המקצועית של השותפים בצורה קונסטרוקטיבית. בסיסו של מחקר הפעולה הינו ביישום מעשי של שינויים בשטח (Altricher, Feldman, Posch, & Somekh, 2013; Briscoe & Wells, 2002; Cochran-Smith & Lytle, 1999).

מחקרי פעולה מאפשרים למורה ליזום תהליך פרקטי-שיתופי, בעזרת מומחה שמנחה אותו ובעזרת שותפים משמעותיים: קולגות, תלמידים, הורים ועמיתים. השיח עם השותפים למחקר מאפשר רפלקציה כמו גם התבססות על המחקר ותוצאותיו על מנת להבנות תיאוריה פדגוגית שתשמש את המורה גם בהמשך דרכו. במסגרת המחקר, המורה זקוק לשותפים שייצפו בו, שיהיו מעורבים בבעיות המעסיקות אותו ולעיתים גם אותם. מסיבות אלו המחקר נערך פעמים רבות בשותפות. (צ'רמאייר, 2011; 2008).

התנסות במחקרי פעולה מאפשרת להתייחס ולטפל בקשים ולשפר את איכות ההוראה. תהליך הרפלקציה שהינו חלק ממחקר הפעולה מאפשר הבנה עמוקה ושיפור נוסף (Altricher, Feldman, 2010; Posch, & Somekh, 2013). באמצעות מחקר פעולה מורה מוביל יכול לנסות ולבסס שינויים בדרכי הוראה בבית הספר.

קשיים, אתגרים וסיפורי הצלחה

כל תהליך שינוי עלול לעורר התנגדות של הסביבה. על אחת כמה וכמה כאשר שינוי מוכתב מבחוץ. מורה מוביל אשר רוצה להכניס תהליך, שיטה או מתודה חדשים עלול לחוות קושי והתנגדות מצד הבית ספר, המורים, ההורים או התלמידים. התנגדות שכזו עלולה לעורר רגשות לא נעימים ותסכול.

מורה מוביל אשר אחרי נסמכים עליו, עשוי להרגיש בעומס רב וציפיה "לספק את הסחורה". תחושה זו לעיתים מלווה בלחץ להיות זמין ולתמוך באחרים, לעיתים על חשבון משאביו של המורה עצמו. מורה כזה צריך למצוא את שביל הזהב ולאזן בין המחויבויות והתפקידים ובין השאיפות והרצון שלו לקדם תהליכים ולתמוך באחרים.

להלן סיפורו של ניקי בסט, מורה חדש שהגיע עם הרבה ניסיון מהשטח:

במשך כ-40 שנה שרתתי בתפקידים בכירים בתעשייה המתקדמת בארץ ובחול, במהלך ניהול מאות עובדים וחנכתי עשרות מנהלים. צברתי ניסיון שהתווסף על הידע שרכשתי בתחילת דרכי במוסדות ההשכלה הפורמליים. הניהול האמור היה כרוך בעיסוק אינטנסיבי בטכנולוגיות מתקדמות, והחברות בהן שרתתי היו מהמובילות בתחומן בעולם.

לבקשתם של מנהל בית הספר ומנהלת חטיבת הביניים של הגימנסיה העברית בירושלים, הצגתי גרסה ראשונית של תכנית העשרה אשר פיתחתי על בסיס ניסיון רב שנים בתעשיית ההיי טק בארץ ובחול. בפיתוח התכנית הסתמכתי על עקרונות פדגוגיים שנרכשו במהלך הלימודים במסגרת תכנית מבטים בפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון.

התכנית מיועדת לקרב לימודי מדע וטכנולוגיה למציאות אותה חווים התלמידים מדי יום. כמו כן, מיועדת התכנית לחשוף בפני התלמידים טכנולוגיות חדשות אשר התפתחו במסגרת המהפכה הטכנולוגית הרביעית אשר אנחנו כבר נמצאים בעיצומה. שם התכנית הוא "הנגשת טכנולוגיות עתירות מדע" והיא נבנתה כתכנית שנתית לתלמידים מצטיינים של חטיבת הביניים בבית ספר עיוני אשר אין בו מגמה טכנולוגית. התכנית פורסת בפני התלמידים תשתית ראשונית באמצעות פורטפוליו מדעי טכנולוגי, שנועד להכין אותם לעולם התעשייה המודרנית אשר יפתח בפניהם עם סיום לימודיהם. להעניק להם ידע בתחומים טכנולוגיים מסוימים אותם הם חווים בחיי היום יום, ולפתח יכולות חשיבה טכנולוגית אנליטית, אוריינות טכנולוגית-מדעית (Technological and Scientific Literacy), ויכולת עבודה בצוות. לתכנית שני מרכיבים עיקריים:

מרכיב ראשון: פיתוח חשיבה מדעית, אנליטית בין/ רב תחומית. היכרות עם יישומי מדע בתחומי: תעופה, צילום, מנועים חשמליים וגנרטורים, מנוע 4 פעימות.

מרכיב שני: היכרות ראשונית עם הטכנולוגיות אשר מובילות בהתפתחות התעשייה המודרנית. במסגרת זאת לומדים ומתנסים בתחומים הבאים:

- יצרנות בטכנולוגיות מתקדמות.
 - א. דו ממד – תכנון וייצור באמצעות מכונות חיתוך וצריבת לייזר.
 - ב. תלת ממד – תכנון וייצור באמצעות מדפסות תלת ממד.
- אוטומציה המבוססת על אלקטרוניקה ותוכנה באמצעות ערכות Arduino. תחום זה מהווה בסיס אשר על כתפיו ניתן לפתח את תחום ה-IOT (Internet Of Things) המהווה את השלד למערכות הסייבר פיזיקאליות המאפיינות את המהפכה התעשייתית הרביעית.
- רובוטיקה, בניית מתקנים מכנו/חשמליים בעזרת ערכות לגו, ומופעלים ע"י בקר ממוחשב ותוכנת Mindstorms NXT.

כל הנושאים נלמדים תוך שילוב לימוד עיוני עם התנסות ועבודת צוות. בנוסף להקניית ידע וניסיון יטופחו מיומנויות כגון: ניתוח אירועים, חשיבה ביקורתית, פתרון בעיות, עבודת צוות, ותודגש היצירתיות.

מורה אחרת יזמה והובילה פרויקט לחיזוק וקידום תלמידי אמצע:

הפרויקט נועד לתלמידים שממוצע ציוניהם היה בין 40 ל-70. קבוצה הכוללת תלמידים בעלי מוטיבציה גבוהה ורצון עמוק להצליח למרות קשיים שמקורם מסיבות פסיכולוגיות (חרדת בחינות ועוד) או עקב פערים שהם גוררים משנים קודמות.

מטרתו הפדגוגית של הפרויקט הייתה לעורר בקרב תלמידי האמצע סקרנות ועניין כנה בחומר הנלמד, מתוך למידה משמעותית, חווייתית ולא פחות חשוב - מהנה. בהנחה שאם יושגו המטרות הפדגוגיות הללו, התלמידים יתחילו לצבור חוויות הצלחה שיהוו משוב חיובי לתפקודם שיבוא לידי ביטוי בשיפור ההישגים. בפרויקט זה היה ניסיון לטפל בפערים הגדולים בין התלמידים בידע כללי ובידע בסיסי. תכנית העבודה כללה:

- מעקב אישי אחר הנושאים בהם התלמידים מתקשים (בידוד הנושאים מתוך בחנים ומבחנים מרובי נושאים) ומתן דפי עבודה בהתאם. דפי העבודה שכוללים שאלות ברמות קושי שונות

שמסומנות בהתאם. התלמידים בוחרים לענות על שאלות התואמות את רמת הקושי בה הם מעוניינים. ניקוד בונוס על פתרון שאלות ברמת קושי גבוהה (יחסית לתלמיד). הרעיון העומד מאחורי הגישה הנו שוויון בהישגים בנוסף לשוויון הזדמנויות.

- בחני הצלחה לשם שיפור הדימוי העצמי, הפגת הלחץ הנפשי מהמקצוע, ועידוד המוטיבציה. הרעיון העומד מאחורי הגישה הנו שוויון בהישגים בנוסף לשוויון הזדמנויות.
- עידוד לפתירת תרגילים בזמן השיעור והצגתם בפני הכיתה כולה (ניצול הזדמנויות הצלחה)
- עידוד שאילת שאלות. משוב חיובי על עצם שאילת שאלות ("שימו לב, x שאל שאלה מצוינת...")
- למידת עמיתים. דוגמת שיעור בשיטת jigsaw (כשמתאפשר)
- שימור קשר רציף עם ההורים ועדכוןם בהתקדמות במקצוע
- עבודה עם דף נלווה למבחן (כיתתי)
- שיטת הוראה מבוססת הקשר: הוראה המשלבת פתרון בעיות מחיי היום-יום, לשם המחשת הרלוונטיות של החומר הנלמד, ולחיזוק הזיקה למתמטיקה.

בשל השיפור בהישגי הקבוצה הוחלט בבית הספר, להעלות שישה עשר מתלמידי הקבוצה (בעלי ההישגים הגבוהים ביותר) להקבצה מתקדמת יותר. הבשורה על כך גרמה להגברת מוטיבציה ולהרגשת סיפוק אישי בקרב תלמידים אלו.

תלמידים בעלי הישגים נאים הנובעים מעבודה מרובה ומאומצת ("תלמידי-אמצע-לשעבר"), יזדקקו לעידוד מתמיד ויש להמשיך לעבוד עמם באופן שיאפשר להם לצבור הצלחות גם בקבוצות הגבוהות יותר. למידה מותאמת אישית יכולה לשפר משמעותית את הישגי תלמידי כל הרמות.

הפרויקט המוצג גרר הצלחה כזו שבית הספר הציע תכנית למשרד החינוך שמבוססת על הפרויקט של מורה זו.

שתי הדוגמאות המובאות כאן ממחישות את יכולות של המורה להשפיע על המערכת ולהוביל תהליכים שונים וחדשניים.

עם כל הקושי, ההצלחה שמלווה לתפקיד יכולה להקטין את השחיקה, להעלות את רמת הסיפוק מהעבודה ולתרום לתחושת השליחות שמלווה למקצוע ההוראה.

אנו מזמינים אתכם להצטרף אלינו:

- בוגרי טכניון או בוגרי מדע והנדסה באוניברסיטאות אחרות, הצטרפו אלינו לתכנית מבטים המקנה תעודת הוראה במימון מלגת נשיא הטכניון!
- מורים מנוסים למדע וטכנולוגיה, הצטרפו אלינו להשתלמות חונכים הנפתחת בשנה הקרובה!

מקורות

<http://cms.education.gov.il/EducationCMS/Units/PituachMiktzoie/gmisott/MorimTfisa.htm>

<http://www.mofet.macam.ac.il/mm/Pages/default.aspx>

<https://www.gov.uk/government/news/great-teachers-could-become-master-teachers>, 2011

ד. שטרלינג (2016), פיתוח מקצועי של מורים באמצעות מורים מובילים, מכון מופת

Altricher, H., Feldman, A., Posch, P., & Somekh, B. (2013). Teachers investigate their work: an introduction to action research across the professions.

Aspfors, J., & Fransson, G. (2015). Research on mentor education for mentors of newly qualified teachers: A qualitative meta-synthesis. *Teaching and Teacher Education*, 48, 75-86.

Avargil, S., Herscovitz, O., & Dori, Y. J. (2013). Challenges in the transition to large-scale reform in chemical education. *Thinking Skills and Creativity*, 10, 189-207.

- Barnea, N., Dori, Y. J., & Hofstein, A. (2010). Development and implementation of inquiry-based and computerized-based laboratories: reforming high school chemistry in Israel. *Chemistry Education Research and Practice*, 11(3), 218-228.
- Bell, B., & Gilbert, J. (1994). Teacher development as professional, personal, and social development. *Teaching and Teacher Education*, 10(5), 483-497.
- Bradbury, L. U., & Koballa, T. R. (2008). Borders to cross: Identifying sources of tension in mentor-intern relationships. *Teaching and Teacher Education*, 24(8), 2132-2145.
- Briscoe, C., & Wells, E. (2002). Reforming primary science assessment practices: A case study of one teacher's professional development through action research. *Science Education*, 86(3), 417-435.
- Capobianco, B. M., & Feldman, A. (2010). Repositioning teacher action research in science teacher education. *Journal of Science Teacher Education*, 21(8), 909-915.
- Cochran-Smith, M., & Lytle, S. L. (1999). The teacher research movement: A decade later. *Educational Researcher*, 28(7), 15-25.
- Collinson, V. (1996). Becoming an Exemplary Teacher: Integrating Professional, Interpersonal, and Intrapersonal Knowledge.
- Dogan, S., Pringle, R., & Mesa, J. (2016). The impacts of professional learning communities on science teachers' knowledge, practice and student learning: A review. *Professional Development in Education*, 42(4), 569-588.
- Dori, Y. J., & Herscovitz, O. (2005). Case-based long-term professional development of science teachers. *International Journal of Science Education*, 27(12), 1413-1446.
- Fairbanks, C. M., Freedman, D., & Kahn, C. (2000). The role of effective mentors in learning to teach. *Journal of Teacher Education*, 51(2), 102-112.
- Gabriel, R., Day, J. P., & Allington, R. (2011). Exemplary teacher voices on their own development. *Phi Delta Kappan*, 92(8), 37-41.
- Hofstein, A., Carmi, M., & Ben-Zvi, R. (2003). The development of leadership among chemistry teachers in Israel. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 1(1), 39-65.
- Howe, E. R. (2006). Exemplary teacher induction: An international review. *Educational Philosophy and Theory*, 38(3), 287-297.
- Luft, J. A., & Hewson, P. W. (2014). Research on teacher professional development programs in science. *Handbook of Research in Science Education*, 2, 889-909.
- Rhodes, C., & Beneicke, S. (2002). Coaching, mentoring and peer-networking: Challenges for the management of teacher professional development in schools. *Journal of In-service Education*, 28(2), 297-310.
- Simpson, T., Hastings, W., & Hill, B. (2007). 'I knew that she was watching me': the professional benefits of mentoring. *Teachers and Teaching: Theory and Practice*, 13(5), 481-498.
- Stanulis, R. N. (1995). Classroom teachers as mentors: Possibilities for participation in a professional development school context. *Teaching and Teacher Education*, 11(4), 331-344.

Van Driel, J. H., Beijaard, D., & Verloop, N. (2001). Professional development and reform in science education: The role of teachers' practical knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(2), 137-158.

Wilson, H., & Mant, J. (2011). What makes an exemplary teacher of science? The pupils' perspective. *School Science Review*, 93(342), 121-125.

ניתוח גורמי המוטיבציה של מורים לאלקטרוניקה: המקרה של מכללה טכנולוגית

ד"ר אהרון גרו ושי מנו-ישראלי
הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

תקציר

מכללה טכנולוגית הינה מסגרת חינוכית על-תיכונית המספקת הכשרה יישומית במגוון תחומי ההנדסה. לאור התפקיד המרכזי של מורים בתהליך הלמידה, המחקר המתואר במאמר אפיין את הגורמים המניעים מורים לעסוק בהוראת אלקטרוניקה במכללה טכנולוגית מובילה בישראל. המחקר, שעשה שימוש בכלים כמותיים ואיכותניים, מצא שהמורים מונעים בעיקר מעניין בהוראה (מוטיבציה פנימית) ומהכרה בערך הגלום בה (הכוונה הכרתית). על פי תורת ההכוונה העצמית, ניתן להסביר את הממצאים בסיפוק שלושת צרכי היסוד (הצורך באוטונומיה, הצורך במסוגלות והצורך בשייכות) בקרב מרבית המורים לאלקטרוניקה במכללה.

מבוא

המחקר החינוכי מצביע באופן שיטתי על כך שהישגי תלמידים מושפעים באופן ניכר מאיכות ההוראה (Thoonen, Sleegers, Oort, Peetsma, & Geijsel, 2011). לפיכך, קיימת חשיבות רבה בהבנת הגורמים המניעים מורים לעסוק בהוראה (Caprara, Barbaranelli, Steca, & Malone, 2006).

באופן פורמלי, מקובל להגדיר מוטיבציית מורים כאוסף הגורמים המניעים את הפרט לבחור בהוראה כקריירה ולהתמיד בעיסוק בה (Sinclair, 2008). מתוך ההגדרה עולה הצורך להבחין בשני היבטים של מוטיבציית מורים: המוטיבציה ההתחלתית לבחור במקצוע ההוראה ולהשלים את תהליך ההכשרה המתאים (pre-service teachers' motivation) והמוטיבציה לעסוק בהוראה לאחר סיום ההכשרה (in-service teachers' motivation).

מאמר זה מציג מחקר שבחן, לראשונה למיטב ידיעתנו, את גורמי המוטיבציה המניעים מורים (שסיימו את הכשרתם) ללמד אלקטרוניקה במכללה טכנולוגית בישראל. מכללה טכנולוגית הינה מסגרת חינוכית על-תיכונית המספקת הכשרה במגוון תחומי הנדסה: אלקטרוניקה, מכונות, ביו-טכנולוגיה ועוד. הכשרה זו אורכת שנתיים, מתמקדת בפן היישומי של המקצוע, ומיועדת בעיקר לסטודנטים בעלי הישגים אקדמיים נמוכים יחסית (Gero, Zoabi, & Sabag, 2014). בתום ההכשרה מוענק לסטודנטים התואר "הנדסאי" בתחום הנלמד. במחקר הנוכחי, ניתוח גורמי המוטיבציה של מורי האלקטרוניקה התבצע מנקודת המבט של תורת ההכוונה העצמית (Deci & Ryan, 2000), שהיא מתורות המוטיבציה המובילות כיום.

מעבר לתרומה התיאורטית של המחקר לגוף הידע בנושא, חשיבותו המעשית עשויה לבוא לידי ביטוי בישום ממצאיו לצורך שיפור איכות ההוראה והלמידה במוסדות חינוך טכנולוגיים, תיכוניים ועל-תיכוניים כאחד.

מוטיבציה ותורת ההכוונה העצמית

תורת ההכוונה העצמית (Deci & Ryan, 1985) מציעה הסבר לתהליכים המניעים את הפרט לעסוק בפעילות מסוימת. תורה ההכוונה העצמית המירה את המבנה הדיכוטומי הקלאסי של גורמי מוטיבציה פנימיים-חיצוניים (Herzberg, Mausner, & Snyderman, 1959) במבנה לפיו גורמי המוטיבציה נמצאים על רצף ונבדלים זה מזה בדרגת האוטונומיה הנתפסת (perceived autonomy). רמה גבוהה של אוטונומיה נתפסת מאפשרת לפרט מימוש עצמי בהתאם לרצונותיו האוטונומיים, בעוד שרמה נמוכה של אוטונומיה נתפסת נובעת מאילוץ חיצוניים או פנימיים.

להלן נסקור את גורמי המוטיבציה העיקריים על פני הרצף. גורם המוטיבציה המתאפיין ברמה הנמוכה ביותר של אוטונומיה נתפסת והנמצא בקוטב אחד של הספקטרום הוא הכוונה חיצונית (external regulation). גורם זה מייצג את הרצון לקבל תגמול חומרי עבור התנהגות, או לחלופין, את החשש מעונש עקב אי ביצועה. מורה המשקיע מאמץ בעבודתו בכדי להימנע מתלונות על איכות ההוראה שלו מהווה דוגמה מובהקת למורה המונע מהכוונה חיצונית. גורם פנימי יותר על פני הרצף הוא הכוונה רצייה (introjected regulation). גורם זה מבטא את הרצון לקבל מאחרים הערכה חיובית עבור ביצוע ההתנהגות, או לחלופין, את הרצון להימנע מרגשות אשם הכרוכים באי ביצוע

ההתנהגות. דוגמא לכך היא מורה המשקיע מאמץ בעבודתו כי אחרת הוא יתבייש מעצמו. הכוונה הכרתית (identified regulation) הוא הגורם הבא על פני הרצף ומקורו בזיהוי חשיבות הגלומה בהתנהגות בנוגע למטרות הפרט או ערכיו. מורה הרואה חשיבות בהוראה מפני שבכך הוא תורם לחברה, הוא מורה המונע מהכוונה הכרתית. בקוטב הנגדי של הרצף מצויה מוטיבציה פנימית (intrinsic motivation), המתאפיינת ברמה הגבוהה ביותר של אוטונומיה נתפסת, ונובעת מעניין והנאה שהפרט מוצא בהתנהגות (Roth, Assor, Kanat-Maymon, & Kaplan, 2007). תורת הכוונה העצמית, בהיותה חלק מהזרם ההומניסטי בחקר מוטיבציה, גורסת כי סיפוק שלושת צרכי היסוד של הפרט עשוי להביא אותו לרמת אוטונומיה נתפסת גבוהה (Deci & Ryan, 2000). צרכים אלה הם:

- הצורך באוטונומיה (autonomy) – הצורך להרגיש שהתנהגות הפרט לא נכפתה עליו;
- הצורך במסוגלות (competence) – הצורך להרגיש שהפרט יכול להשיג יעדים אתגריים;
- הצורך בשייכות (relatedness) – צורך הפרט להיות בקשר עם הזולת ולהוות חלק מקבוצה.

הוראת אלקטרוניקה במכללה טכנולוגית

כפי שצוין בתחילת המאמר, מכללה טכנולוגית הינה מוסד חינוכי על-תיכוני המספק הכשרה מעשית במגוון ענפי ההנדסה. חלק מהמכללות מציעות תכניות לימודים עבור סטודנטים הממשיכים, ללא הפסקה, את לימודיהם התיכוניים (במסגרת כיתות "ג-ד"), חלקן מציעות תכניות עבור סטודנטים מבוגרים יותר, שבתום התיכון נטלו פסק זמן מלימודיהם, וחלק מהמכללות מציעות תכניות ייעודיות עבור שתי האוכלוסיות. מחקר זה התמקד במורים המלמדים אלקטרוניקה בתכנית המיועדת לסטודנטים הצעירים יותר.

תכנית הלימודים באלקטרוניקה נועדה להקנות לסטודנט ידע ומיומנויות בשלושה תחומים: תכנון וניתוח של מעגלים אלקטרוניים (אנלוגיים ודיגיטליים), כתיבה ופיתוח תכנה ותכנון מערכות משובצות מחשב. השנה הראשונה מוקדשת ללימוד מקצועות היסוד באלקטרוניקה, הן מההיבט העיוני והן מההיבט המעשי, הכולל התנסות במעבדות לאלקטרוניקה ומחשבים. בשנה השנייה נלמדים מקצועות מתקדמים ומתבצע פרויקט הגמר.

המורים לאלקטרוניקה במכללה הם, לכל הפחות, בעלי תואר ראשון בהנדסת חשמל או בחינוך הנדסי. המורים מלמדים קורס אחד או שניים, המוצע במספר קבוצות הוראה (בדרך כלל שתיים-שלוש קבוצות שגודלן הממוצע הוא עשרים סטודנטים). הקורסים עשויים להיות קורסים תיאורטיים ו/או קורסי מעבדה. היקף משרת ההוראה נע בין 15-30 שעות שבועיות המתפרסות על פני יומיים-חמישה ימים בשבוע. המורים אינם נדרשים לעסוק במחקר.

מערך המחקר

המחקר בחן את גורמי המוטיבציה המניעים מורים ללמד אלקטרוניקה במכללה טכנולוגית. במחקר נטלו חלק שישה-עשר מורים לאלקטרוניקה במכללה טכנולוגית מובילה בישראל. הגיל הממוצע של המורים הוא כחמישים שנה והניסיון הממוצע שלהם בהוראה הוא כעשר שנים. המחקר עשה שימוש בכלים כמותיים ואיכותניים. במסגרתו, המורים התבקשו למלא שאלון אנונימי סגור, שנועד לאמוד את הגורמים המניעים אותם ללמד אלקטרוניקה במכללה. בנוסף, התקיימו חמישה ראיונות חצי-מובנים עם מורים, במטרה להרחיב ולהעמיק את המידע שעלה באמצעות השאלון. הנתונים הכמותיים נותחו סטטיסטית. באמצעות ניתוח תוכן, שהתבסס על תורת הכוונה העצמית, הנתונים האיכותניים סווגו לקטגוריות.

השאלון להערכת הגורמים המניעים מורים ללמד אלקטרוניקה היה מסוג ליקרט בן חמש רמות. הוא התבסס על Self-Regulation Questionnaire – Academic (Ryan & Connell, 1989), שנבנה במקור עבור תלמידים והותאם במחקר זה למורים. השאלון כלל עשרים היגדים ששיקפו את ארבעת גורמי המוטיבציה שהוזכרו לעיל. כך, למשל, ההיגד "אני מלמד אלקטרוניקה כי ההוראה מעניינת" מבטא מוטיבציה פנימית; ההיגד "אני מלמד אלקטרוניקה כי בכך אני תורם לשיפור מצבה הכלכלי של המדינה" משקף הכוונה הכרתית; ההיגד "אני מלמד אלקטרוניקה כי אני רוצה שאנשים יעריכו אותי" מבטא הכוונה רצויה; וההיגד "אני מלמד אלקטרוניקה כי אין לי ברירה" מיצג הכוונה חיצונית. ההיגדים תוקפו ע"י שני מומחים בחינוך הנדסי. ערכי אלפא של קרונבך של ארבעת גורמי המוטיבציה אינם נמוכים מ-0.78 ומעידים על עקיבות פנימית

ממצאים

הממצאים מצביעים על כך שציון המוטיבציה הפנימית של מורי האלקטרוניקה (M=86.56; SD=8.11) הוא הגבוה ביותר מבין גורמי המוטיבציה, ציון ההכוונה הכרתית (M=68.13; SD=14.50) ממוקם שני בדירוג, ציון הכוונת הרצייה נמצא במקום השלישי (M=43.54; SD=17.10) וציון ההכוונה החיצונית הוא במקום האחרון (M=41.25; SD=15.11), הסמוך מאוד למקום השלישי. הציונים נעים בין 20 לבין 100. יתכן וניתן ליחס את המשקל הגבוה יחסית של מוטיבציה פנימית לסיפוקם של צרכי היסוד בקרב מרבית המורים, כמפורט בטבלה 1. הציונים בטבלה לקוחים מהראיונות.

טבלה 1: סיפוק צרכי היסוד

פרשנות החוקרים	דוגמא	צורך
הצורך באוטונומיה מסופק בזכות החופש להחליט כיצד ללמד	כשאני אמור ללמד לפי תכנית לימודים מסוימת, אני מתייעץ עם מורה מנוסה ממני... אם זה לא מתאים, אני משנה כיוון... תכנית הלימודים נותנת לי את המסגרת... אני בוחר מה להדגיש ומה לא.	אוטונומיה
הצורך במסוגלות מסופק בזכות הניסיון הנצבר	הניסיון נתן לי המון... [במהלך לימודי ההוראה] היו דברים שידעתי שצריך לעשות, אבל לא ידעתי איך לעשות אותם בכיתה... [למשל], איך לתת דוגמא בזמן הנכון... כיום אני שולפת את הדוגמא המתאימה מיד.	מסוגלות
הצורך בשייכות מסופק בזכות יחסי האנוש הטובים בקרב המורים	צוות המורים שאני שייכת אליו מאוד מכבד... עוזר... תמיד נרתמים לעזרתי, במיוחד בחופשת הלידה... זה יוצא דופן כשאני משווה למקומות עבודה אחרים... זו אווירה שמעודדת להישאר כאן [במכללה].	שייכות

דיון ומסקנות

על-פי הממצאים, מורים לאלקטרוניקה במכללה הטכנולוגית מונעים בעיקר ממוטיבציה פנימית, המשקפת עניין והנאה בהוראה, ומהכוונה הכרתית, המבטאת את הערך שהמורים מזהים בהוראה. לאור תורת הכוונה העצמית (Deci & Ryan, 1985) יתכן וניתן להסביר את הממצאים בסיפוקם של שלושת צרכי היסוד בקרב מרבית המורים. הצורך באוטונומיה מסופק בזכות החופש היחסי להחליט כיצד ללמד המוענק למורה על ידי ההנהלה, הצורך במסוגלות מסופק בזכות הניסיון המצטבר של המורים, והצורך בשייכות בא על סיפוק עקב יחסי האנוש הטובים בקרב המורים. ממצאים אלה תואמים מחקרים קודמים שהראו שסיפוק הצורך באוטונומיה (LeCompte & Dworkin, 1991), הצורך במסוגלות (Caprara, Barbaranelli, Steca, & Malone, 2006) והצורך בשייכות (Firestone & Pennell, 1993) מחזק את המוטיבציה הפנימית כלפי הוראה. ממצאי המחקר הנוכחי, המצביעים על החשיבות בסיפוק צרכי היסוד של מורים במכללה, עשויים להיות רלוונטיים גם עבור מורים ברמה התיכונית.

Gero, A. & Mano-Israeli, S. (2017). Motivational factors of engineering teachers at two-year colleges. In: A. Isman & A. Eskicumali (Eds.), *Proceedings of the International Conference on New Horizons in Education* (vol. II, pp. 699–702). Adapazarı, Turkey: Sakarya University.

מקורות

- Caprara, G. V., Barbaranelli, C., Steca, P., & Malone, P. S. (2006). Teachers' self-efficacy beliefs as determinants of job satisfaction and students' academic achievement: A study at the school level. *Journal of School Psychology, 44*(6), 473–490.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic Motivation and Self-determination in Human Behavior*. Plenum Publishing Co.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2000). The “what” and “why” of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry, 11*, 227–268.
- Firestone, W. A. & Pennell, J. R. (1993). Teacher commitment, working conditions, and differential incentive policies. *Review of Educational Research, 63*(4), 489–525.
- Gero, A., Zoabi, W., & Sabag, N. (2014). Animation based learning of electronic devices. *Advances in Engineering Education, 4*(1), 1–21.
- Herzberg, F., Mausner, B., & Snyderman, B. B. (1959). *The Motivation to Work*. John Wiley.
- LeCompte, M. D. & Dworkin, A. G. (1991). *Giving Up on School: Student Dropouts and Teacher Burnouts*. Corwin Press.
- Roth, G., Assor, A., Kanat-Maymon, Y., & Kaplan, H. (2007). Autonomous motivation for teaching: How self-determined teaching may lead to self-determined learning. *Journal of Educational Psychology, 99*(4), 761–774.
- Ryan, R. M. & Connell, J. P. (1989). Perceived locus of causality and internalization: Examining reasons for acting in two domains. *Journal of Personality and Social Psychology, 57*, 749–761.
- Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary Educational Psychology, 25*, 54–67.
- Sinclair, C. (2008). Initial and changing student teacher motivation and commitment to teaching. *Asia-Pacific Journal of Teacher Education, 36*, 79–104.
- Thoonen, E. E., Slegers, P. J., Oort, F. J., Peetsma, T. T., & Geijsel, F. P. (2011). How to improve teaching practices: The role of teacher motivation, organizational factors, and leadership practices. *Educational Administration Quarterly, 47*(3), 496–536.

חשיבה מערכתית בקרב מורים למדעים: שימוש בתוכנה ליצירת מודלים רעיוניים של מאמרים מחקרניים¹

רע לביא ופרופ' יהודית דורי
הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל
פרופ' דב דורי
הפקולטה להנדסת תעשייה וניהול, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

תקציר

חשיבה מערכתית מסייעת בהבנת מערכות ותופעות. למרות חשיבותה הגוברת של חשיבה מערכתית בחינוך למדע, אין שימוש בהוראת המדעים בכלים המבוססים על גישה פורמלית לחשיבה מערכתית. ערכנו מחקר ראשוני בו צוותי מורים השתמשו בכלי ייעודי ליצירת מודלים רעיוניים של מאמרים מחקרניים בנושאים של חינוך למדע. הערכנו את האיכות של כל מודל לפי בהירותו ולפי נכונותו. מהממצאים עולה כי ניתן ליישם את הכלי ואת המחונן בהם השתמשנו בפיתוח והערכה של חשיבה מערכתית בקרב מורים למדעים ובלימודי המדעים.

הקדמה

בעידן הנוכחי בו קצב השינויים הטכנולוגיים הולך וגובר, היכולת לפתור בעיות מורכבות נמצאת במיקום גבוה בסדר העדיפויות של ארגונים העוסקים בחינוך (Kurzweil, 2000; Singer, Nielsen, & Schweingruber, 2012). חשיבה מערכתית היא גישה בינתחומית לפתרון בעיות, שבאמצעותה ניתן להבין מערכות מעשה ידי אדם וגם לתאר תופעות טבע ומצבים חברתיים כמערכות (Checkland, 2000; Crawley, Cameron, & Selva, 2015; Frank, 2000). עם הפיכתן של מערכות טכנולוגיות וטכנו-חברתיות למורכבות יותר ויותר (Frank, 2000), גופי חינוך לאומיים ובינלאומיים כאחד זיהו את חשיבותה של חשיבה מערכתית כתחום מאחד עבור לימודי המדעים וההנדסה (NGSS Lead States, 2013). לפיכך, קיים צורך בשיטה ובכלים לאפשרור ולהערכה של חשיבה מערכתית באופן שאינו תלוי-תחום או נושא מסוים.

ברצוננו להשיג שלוש מטרות במאמר זה:

1. להציג כלי ליצירת מודלים רעיוניים של נושאים מדעיים שאינם תלוי-תחום או נושא מסוים,
2. להציג שיטה להערכת אותם מודלים,
3. לספק הערכה ראשונית של יישום הכלי והשיטה בקרב מורים למדעים.

גוף המאמר מורכב מארבעה חלקים: (1) רקע תיאורטי למחקר, בו נבאר את המושגים בעיה, מערכת, חשיבה מערכתית, ומודל רעיוני, כפי שהם נוגעים למחקר הנוכחי; (2) שיטת המחקר, בו נפרט את סביבת המחקר, המשתתפים, הכלים, וההליך שלו; (3) פרק הממצאים, בו נציג בתמצות את ממצאי המחקר; ו-(4) פרק הדיון, בו נפרט את מסקנותינו ונספק המלצות הנובעות מממצאי המחקר.

רקע תיאורטי

ניתן לתאר בעיה באופן כללי כישות בלתי-ידועה אשר הפתרון שלה הינו בעל ערך חברתי, תרבותי, או אינטלקטואלי. תהליך פתרון הבעיות מורכב מחיפוש ומציאת ישות בלתי ידועה זו. ניתן למקם בעיות על רצף של מבניות (structuredness), מבעיות עם מבניות נמוכה, אשר מטרותיהן עמומות ויש להם מספר פתרונות אפשריים, כגון דילמות או בעיות תכן, ועד לבעיות עם מבניות גבוהה, אשר מטרותיהן מובחנות ולהן פתרון אחד ברור, כגון בעיות אלגוריתמיות וחדות הגיון (Jonassen, 2000). עבור בעיות בעלות מבניות גבוהה, יש לייצג את הבעיה, לחפש פתרון וליישמו, בעוד שעבור

¹ המאמר מבוסס על הפרק:

Dori, D., Lavi, R., & Dori, Y. J. (2016). Model-based systems thinking. In M. Frank, S. Kordova, & H. Shaked (Eds.), *Systems Thinking: Foundation, Uses and Challenges* (pp. 315–330). New York, NY: Nova Science Publishers, Inc.

בעיות בעלות מבניות נמוכה, יש בנוסף לכך לנמק ולהעריך את הפתרון המוצע, ולנטר (מלשון ניטור) את תהליך היישום שלו (Ge & Land, 2003).

מערכות וחשיבה מערכתית

ניתן להגדיר מערכת כישות המשמרת את קיומה ואת תפקודה כשלם דרך אינטראקציות של חלקיה, כאשר האינטראקציות הללו קשורות ביחסים של סיבה ותוצאה. למערכת כולה תכונות שאין לחלקיה בנפרד, כאשר תכונות אלה נובעות מסך האינטראקציות בין חלקיה השונים של המערכת (Assaraf & Orion, 2005; Batzri, Assaraf, Cohen, & Orion, 2015; Checkland, 2000;) (Dori, D., 2016; Dori, D., & Sillitto, 2017). לדוגמה: למכונת תכונה של נשיאת בני אדם ממקום למקום באופן בטוח ונוח לפי הוראותיו המוטוריות של הנהג, כאשר המנוע, הגלגלים, או שלדת הרכב לבדם אינם מציגים תכונה זו.

למערכות טכנולוגיות מטרה מסוימת, בעוד שלמערכות טבעיות או חברתיות ניתן לשייך תוצאה, ולא מטרה (Batzri et al., 2015). לדוגמה: למרות שניתן לתאר את מחזור המים בטבע כמערכת, לא ניתן לשייך לו מטרה של אספקת מים לשתיה; אולם, ניתן לתאר זאת כתוצאה של המערכת, או ליתר דיוק, כתוצאה שמעניינת אותנו במיוחד.

חשיבה מערכתית הינה גישה לפתרון בעיות המספקת דרך לתיאור של מערכות, תופעות ובעיות באופן מערכתי: מבט-על על בעיות, זיהוי תבניות של שינוי, יחסים בין חלקים מרובים, ועוד (Checkland, 2000; Crawley et al., 2015; Frank, 2000). גישה זו יושמה, בין היתר, במחקרים על חינוך למדע (לדוגמה, Riess & Mischo, 2010) וחינוך להנדסה (לדוגמה, Gero & Zach, 2014).

מודלים רעיוניים

מפות מושגים נוצרו במקור על מנת לייצג ידע מדעי של תלמידים. מפות מושגים מאפשרות לתלמידים ליצור ידע משלהם על ידי קישור של ידע מוקדם עם מידע חדש, באמצעות שימוש בקשרים תיאוריים (Phillips, 1995). מפות מושגים מורכבות בדרך-כלל ממלבנים (או צורות אחרות), המייצגים מושגים, וקווים בין המלבנים, המייצגים יחסים בין המושגים (Novak & Cañas, 2007, 2008; Ruiz-Primo & Shavelson, 1996). מפות מושגים משמשות כלי להערכה של ידע אצל תלמידים וגם ככלי לאפשרור של למידה משמעותית (Novak & Cañas, 2007).

מודלים רעיוניים (קונספטואליים) מהווים כלי מרכזי בהנדסת מערכות, ומשמשים לייצוג של מערכות. הם דומים למפות מושגים, אולם בדרך כלל מורכבים יותר, בעלי שפה פורמלית יותר, עם סוגים שונים של צורות וקשרים המייצגים סוגים שונים של מושגים ויחסים ביניהם (Dori, D., 2016). מחקרים הראו כי יצירת מודלים—מידול—של מערכות על ידי סטודנטים להנדסה אפשרה הבנה טובה יותר של מערכות (Carberry & McKenna, 2014) ומעבר קל יותר בין סוגים שונים של ייצוג (Moore, Miller, Lesh, Stohlmann, & Kim, 2013).

שיטה

סביבת ומשתתפי המחקר

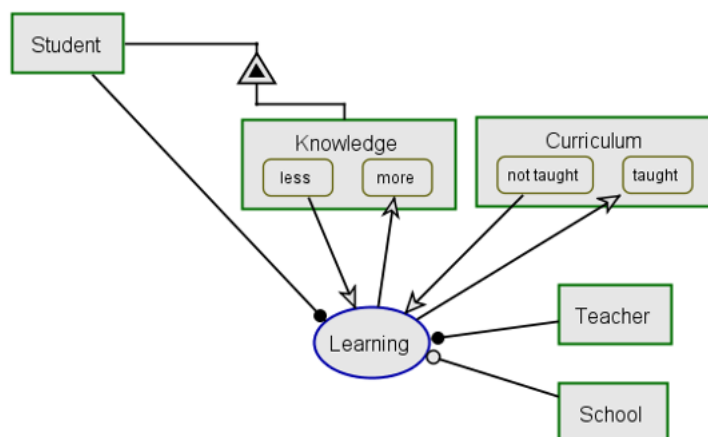
במחקר השתתפו 15 מורים למדעים הלומדים לתואר ראשון או שני, גברים ונשים, מורים בפועל ופרחי הוראה. המחקר התבצע במסגרת קורס בחירה שהועבר בפקולטה לחינוך בטכניון – מכון טכנולוגי לישראל. הקורס הועבר על ידי אחד מכותבי המאמר. בתחילת המחקר, המשתתפים התחלקו לפי רצונם לצוותים בני שניים או שלושה מורים – שבעה צוותים בסך הכול. לכלל המשתתפים ניתנה הכשרה בשימוש בתוכנה של שיטת עצמים-תהליכים.

כלי המחקר

- מטלת מידול רעיוני** המטלה שהעברנו היוותה מטלה מסכמת בקורס. היא כללה ארבעה שלבים:
1. כל צוות בחר נושא בחינוך למדע וטכנולוגיה מתוך רשימת נושאים שהצגנו לכלל המשתתפים.
 2. כל צוות ביצע חיפוש של מאמרים בנושא אותו בחר במאגרי מידע עבור מאמרים שפורסמו בכתבי-עת שעברו הערכת עמיתים במהלך שש השנים האחרונות, ובחר מתוכם חמישה מאמרים. רשימת הנושאים כללה, בין היתר: הערכת למידה; למידה בהקשר; מטה-קוגניציה; ויזואליזציה; ועוד נושאים.
 3. כל צוות יצר מודל בתוכנה של שיטת עצמים-תהליכים המסכם את תקציר חמשת המאמרים אותם בחרו במודל אחד בעל שני תרשימים: רמת-על ורמת עומק.
 4. כל צוות שלח לנו בדואר אלקטרוני את המודל אותו יצרו ואת חמשת המאמרים אותם בחרו למדל.

שיטת עצמים-תהליכים שיטת עצמים-תהליכים (Object-Process Methodology) משמשת למידול רעיוני של מערכות. מקורה של השיטה במערכות מידע, אולם היא יושמה בהצלחה התחומים נרחבים כגון מדע (לדוגמה, (Somekh, Haimovich, Guterman, Dori, D., & Choder, 2014), הנדסה (לדוגמה, (Dori, D. & Thippayathethana, 2016), וחינוך להנדסה (לדוגמה, (Wengrowicz, Dori, D., & Dori, Y. J., 2016). שיטה זו עושה שימוש באלמנטים חזותיים ומילוליים על מנת להקל על ההבנה של המודל ועל מנת לאפשר הערכה של נכונות המודל. האלמנט החזותי בשיטת עצמים-תהליכים מיוצג באמצעות תרשימים גרפיים, והאלמנט המילולי – באמצעות משפטים (טקסט), המשקפים את התרשימים הגרפיים באופן מלא ומדויק. כלומר: ניתן להבין את מודל המערכת באמצעות הסתכלות כל התרשימים בלבד, או לחילופין באמצעות הסתכלות על כל המשפטים בלבד. החלקים המרכיבים כל תרשים בשיטה זו הינם עצמים, תהליכים, וקשרים בין חלקים אלו. שיטת עצמים-תהליכים מאפשרת ניהול, או פירוק, של מורכבות המערכת על ידי חלוקה שלה לתרשימים שונים. כך ניתן להימנע ממצב בו המערכת מיוצגת כולה בתרשים בודד מורכב יתר על המידה וקשה להבנה.

תרשים 1 מציג תרשים לדוגמה הנוצר לפי שיטת עצמים-תהליכים. תרשים זה מתאר את רמת-העל של מערכת למידה מסורתית: מורה המלמד תלמיד לפי תכנית הלימודים במטרה להגדיל את כמות הידע של התלמיד.



Curriculum can be **not taught** or **taught**.
 Student exhibits **Knowledge**.
 Knowledge can be **less** or **more**.
 Student handles **Learning**.
 Teacher handles **Learning**.
 Learning requires **School**.
 Learning changes **Curriculum** from **not taught** to **taught** and **Knowledge** from **less** to **more**.

תרשים 1: מבט-על של מודל רעיוני של מערכת למידה מסורתית בשיטת עצמים-תהליכים. הכלי (תוכנה) ליישום שיטת עצמים-תהליכים מאפשר למשתמש בו ליצור מודלים רעיוניים של כל מערכת שהיא על ידי שרטוט תרשימים גרפיים, כאשר לכל חלק בתרשים נוצרים באופן אוטומטי משפטים המתארים את התרשים באופן מלא ומדויק.

בחרנו בשיטת עצמים-תהליכים עבור המחקר שלנו מהסיבות הבאות:

1. השיטה הינה א-תחומית, ולכן מתאימה ליצירת מודלים בנושאים בינתחומיים.

2. השיטה עושה שימוש באנגלית פשוטה, ברמה של סוף חטיבת ביניים בישראל.
3. השיטה מאפשרת ליצור מודל מורכב באמצעות תרשימים פשוטים יחסית.
4. המשפטים הנוצרים באופן אוטומטי במהלך שרטוט התרשימים מאפשרים ניטור שוטף של פעולת המידול.

מחווון הבדיקה עבור המודלים הרעיוניים המחווון בו עשינו שימוש להערכת המודלים הרעיוניים שיוצרו על ידי צוותי המורים פותח על ידי ונגרוביץ ועמיתיה (2016). במקור, פותח מחווון זה עבור הערכה של איכות מודלים רעיוניים של מערכות מידע. אולם, בהיותה שיטת הערכה המבוססת על תכונות רלבנטיות לכל מודל שהוא, ללא קשר לתחום או לנושא מסוים, הערכנו כי ניתן יהיה לעשות בה שימוש עבור המודלים הרעיוניים שבמחקר הנוכחי.

המחווון כלל שתי תכונות שהיו רלבנטיות עבור המודלים שנוצרו במחקר הנוכחי: (א) **בהירות המודל** – עד כמה העצמים, התהליכים, והקשרים ביניהם היו ברורים לקורא שלא קרא את המאמרים לפני כן; ו-(ב) **נכונות המודל** – עבור המחקר הנוכחי, עד כמה המודל אכן ייצג את תוכן המאמרים עליהם היה מבוסס, לאחר קריאה מדוקדקת של המאמרים. עבור כל תכונה נתנו ציון בין 0 (התכונה לא מתבטאת כלל במודל) ל-100 (התכונה מתבטאת באופן מיטבי במודל). חישובנו ממוצע בין ציוני שתי התכונות עבור כל מודל, כך שכל אחד קיבל ציון כללי מתוך 100 המייצג את איכות המודל: ממוצע של בהירות ונכונות המודל.

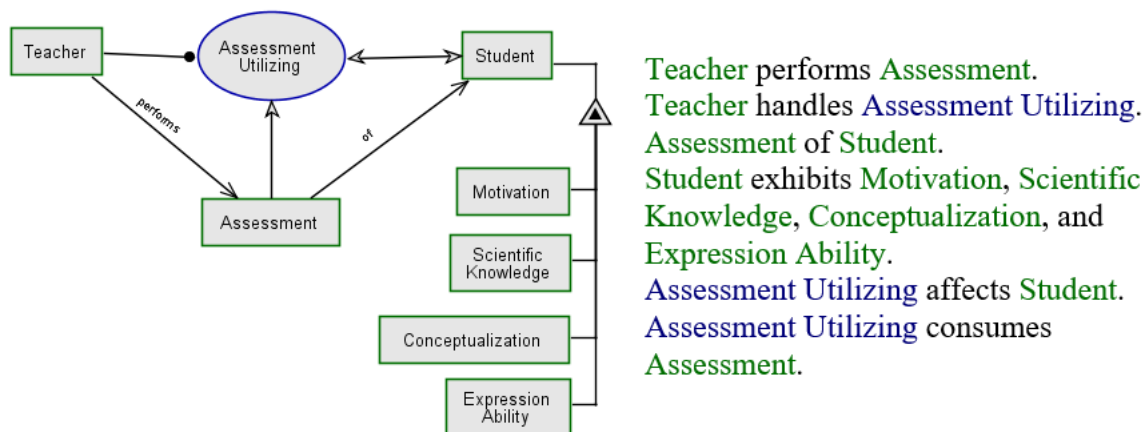
ממצאים

הציונים הכלליים של איכות מודלים אותם יצרו הצוותים נעו בין 50–89, כאשר הציונים הממוצעים עבור בהירות המודל נעו בין 42–86, והציונים הממוצעים עבור נכונות המודל נעו בין 50–93. ממוצע הציונים עבור איכות המודל היה 72, עבור בהירות המודל – 65 ועבור נכונות המודל – 78.

תרשים 2 מראה רמת-על של מערכת הערכת למידה. המודל נוצר על ידי אחד הצוותים שהשתתף במחקר הנוכחי. מודל זה קיבל את הציון הכללי הגבוה ביותר – 89. מודל זה קיבל ציון של 86 עבור בהירות המודל וציון של 93 עבור נכונות המודל.

בתרשים 2 ניתן להבחין במספר נקודות עיקריות המאפיינות רמה גבוהה של איכות המודל: הבנה של התהליך המרכזי של המערכת כתהליך של יישום הערכה (Assessment Utilizing) ושל העצמים המרכזיים במערכת כתלמיד (Student) ומורה (Teacher). בנוסף, המודל מראה הבנה של תכונות שונות של התלמיד: מוטיבציה (Motivation), קונספטואליזציה (Conceptualization), יכולת ביטוי (Expression Ability) וידע מדעי (Scientific Knowledge).

אולם, גם מודל זה ניתן לשיפור: לדוגמה, העצם Assessment (הערכה) ממודל כעצם העובר צריכה על ידי התהליך Assessment Utilizing (שימוש בהערכה); היה נכון יותר למדלו כעצם המאפשר תהליך זה. בנוסף, ניתן היה להוסיף לתרשים את האופנים השונים בהם התכונות השונות של העצם Student (תלמיד) משתפרות כתוצאה מפעולת המערכת, כלומר, כתוצאה מהתרחשות התהליך של Assessment Utilizing אותו מאפשר העצם Teacher (מורה).



תרשים 2: רמת-על של מודל בשיטת עצמים-תהליכים של מערכת הערכת למידה במדעים.

דיון

ממצאי המחקר הראו כי ניתן לעשות שימוש בתוכנה המתבססת על שיטת עצמים-תהליכים לייצוג של בעיות מדעיות, וכי ניתן לעשות שימוש במחונן הערכה מתחום החינוך להנדסה (Wengrowicz et al., 2016) עבור מודלים רעיוניים בתחום החינוך למדע. מכיוון שהבעיות שיוצגו במודלים הן בעלות מבניות נמוכה, ניתן לשער כי שיטת עצמים-תהליכים יכולה להתאים גם לייצוג של בעיות בעלות מבניות גבוהה, כגון בעיות אלגוריתמיות (Jonassen, 2000).

ממצאי המחקר הראשוניים מצביעים על כך שניתן לתרגל חשיבה מערכתית בקרב מורים הלומדים נושאים מדעיים באמצעות שימוש בתוכנה המבוססת על שיטת עצמים-תהליכים. אנו קוראים לגישה זו *חשיבה מערכתית מבוססת מודלים*: חשיבה מערכתית המתאפשרת באמצעות מידול רעיוני של תופעות ונושאים במדע.

בנוסף להרחבת המחקר עם יותר משתתפים על מנת לבסס את הממצאים שהתקבלו במחקר הנוכחי, אנו ממליצים להרחיב את המחקר לאוכלוסיות של תלמידי תיכון, לנושאים מדעיים נוספים ולסוגי בעיות עם מבניות גבוהה יותר. כך ניתן יהיה לשפוט את מידת ההתאמה של שיטת עצמים-תהליכים לאפשרור של חשיבה מערכתית מבוססת-מודלים בלימוד של נושאים מדעיים. תועלת נוספת תעלה מכך שנוענה על הצורך בפיתוח של חשיבה מערכתית גם בלימודי המדעים (NGSS) (Lead States, 2013).

בימים אלו אנו מנהלים מחקרי המשך למחקר הנוכחי, כאשר אוכלוסיית המחקר היא סטודנטים ומורים להנדסה. בכך אנו מתכוונים לבדוק את חשיבה מערכתית מבוססת-מודלים גם בתחום זה.

תודות

ברצוננו להודות מקרב לב למורים ולפרחי ההוראה שהסכימו להשתתף במחקר ולתת מזמנם.

מקורות

- Batzri, O., Assaraf, O. B. Z., Cohen, C., & Orion, N. (2015). Understanding the Earth systems: Expressions of dynamic and cyclic thinking among university students. *Journal of Science Education and Technology*, 24(6), 761–775.
- Carberry, A. R., & McKenna, A. F. (2014). Exploring student conceptions of modeling and modeling uses in engineering design. *Journal of Engineering Education*, 103(1), 77–91.
- Checkland, P. (2000). Soft systems methodology: a thirty year retrospective. *Systems Research and Behavioral Science*, 17, S11–S58.

- Crawley, E., Cameron, B., & Selva, D. (2015). *Systems architecture: Strategy and product development for complex systems*. Hoboken, NJ: Pearson Higher Education.
- Dori, D. (2016). *Model-Based systems engineering with OPM and SysML*. New York, NY: Springer.
- Dori, D., & Sillitto, H. (2017). What is a System? An Ontological Framework. *Systems Engineering*, 20(3), pp. 207–219.
- Dori, D., & Thippayathethana, S. (2016). Model-based guidelines for user-centric satellite control software development. *International Journal of Satellite Communications and Networking*, 34(2), 295–319.
- Frank, M. (2000). Engineering systems thinking and systems thinking. *Systems Engineering*, 3(3), 163–168.
- Ge, X., & Land, S. M. (2003). Scaffolding students' problem-solving processes in an ill-structured task using question prompts and peer interactions. *Educational Technology Research and Development*, 51(1), 21–38.
- Gero, A., & Zach, E. (2014). High school programme in electro-optics: A case study on interdisciplinary learning and systems thinking. *International Journal of Engineering Education*, 30, 1190–1199.
- Kurzweil, R. (2000). *The age of spiritual machines: When computers exceed human intelligence*. Penguin.
- NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. National Academies Press.
- Novak, J. D., & Cañas, A. J. (2008). The theory underlying concept maps and how to construct and use them. Retrieved on December 12th, 2016, from <http://eprint.ihmc.us/5/2/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf>
- Novak, J. D., & Canas, A. J. (2007). Theoretical origins of concept maps, how to construct them, and uses in education. *Reflecting Education*, 3(1), 29–42.
- Phillips, D. C. (1995). The good, the bad, and the ugly: The many faces of constructivism. *Educational Researcher*, 24(7), 5–12.
- Riess, W., & Mischo, C. (2010). Promoting systems thinking through biology lessons. *International Journal of Science Education*, 32(6), 705–725.
- Ruiz-Primo, M. A., & Shavelson, R. J. (1996). Problems and issues in the use of concept maps in science assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(6), 569–600.
- Singer, S. R., Nielsen, N. R., & Schweingruber, H. A. (2012). Discipline-based education research. *Washington, DC: The National Academies*.
- Somekh, J., Haimovich, G., Guterman, A., Dori, D., & Choder, M. (2014). Conceptual modeling of mRNA decay provokes new hypotheses. *PLoS One*, 9(9), e107085.
- Wengrowicz, N., Dori, Y. J., & Dori, D. (2016). Meta-assessment in a project-based systems engineering course. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 42(4), 607–624.

הוראת מחלקות – החוליה החסרה

זאב בנקבצ'ר

מורה ומרכז מגמה אלקטרוניקה באורט רוגוזין, מגדל העמק

תקציר

במאמר זה מוצג מחקר פעולה בנושא הוראת מחלקות. מזה שנים, אחת הבעיות הגדולות של הוראת תכנות מונחה עצמים, מתמקדת בנושא העצמים והמחלקות. הנושא נחשב לקשה להבנה והפנמה ע"י התלמידים, ונראה שגם חלק מהמורים מתקשים בהעברת הנושא בכיתה בצורה חלקה. להערכתך, אחת הסיבות לכך היא שהמעבר משימוש בכלים בסיסיים של משתנים, תנאים ולולאות למושג מורכב כמו מחלקה ועצמים, מהווה קפיצת מדרגה גבוהה מאוד, והליך הלימוד מתארך, ולעיתים גורם לתסכול בקרב התלמידים והמורים. במחקר פעולה זה אני מציע את נושא המחרוזות כנושא מקשר בין הנושאים הבסיסיים שנלמדו לבין נושא העצמים והמחלקות. במאמר מתוארת צורת ההוראה ומפורטים כל השלבים החל מהוראת מחרוזות, דרך מערכים ועד להוראת מחלקות. השיטה הדידקטית העיקרית היא מהתנסות להגדרה, ומזכירה את מודל הלמידה ההתנסותית של קולב (1983). מתוצאות המחקר ניתן לראות שהוראת נושא המחרוזות כפי שמוצגת במאמר, משפרת ומהווה בסיס טוב להבנת נושא העצמים ולימוד נושא המחלקות. ניתן לראות עליה בהישגי התלמידים, ובנוסף, מתקצר משמעותית, הזמן שנדרש להוראת נושא המערכים ונושא המחלקות.

הקדמה

השינויים וההתפתחויות הטכנולוגיות לא פוסחות על שפות הטכנולוגיה. מזה זמן מה שפות התכנות הדומיננטיות הן שפות תכנות מונחות עצמים (Tzilla, Filman & Bader, 2001). מגמה זו בולטת בשוק העבודה כיום. על פי סקרי שוק, השפות השולטות הן שפות תכנות מונחות עצמים כגון C++, C#, JAVA, PYTHON (טבלה 1). כלומר מתבצעת תנועה מתמדת מהפרדיגמה של תכנות פרוצדוראלי (משנות ה-60) המחלקת תכנית גדולה לתת-תכניות רבות (פרוצדורות), לפרדיגמה של תכנות מונחה עצמים (משנות ה-90), בו התוכנה היא מרחב של עצמים תכנותיים בעלי יחסים היררכיים ביניהם (לפידות, 2014; Tzilla, Filman & Bader, 2001). בניגוד לתכנות הפרוצדורלי, בו קיימת הפרדה מוחלטת בין מרחב הזיכרון (משתנים ומבני נתונים), לבין פונקציות אשר מקבלות כפרמטר את מרחבי הזיכרון כערכים או כמצביעים, בתכנות מונחה עצמים, מרחב הזיכרון והפונקציות נמצאים יחד בקפסולה אחת, לה קוראים עצם. בכדי לייצר עצמים אלו, נדרשת ישות אבסטרקטית הנקראת מחלקה. פונקציות המוגדרות בתוך מחלקות נקראות פעולות. ניתן להשתמש במחלקות כדי ליצור באמצעותה כמה עצמים שנרצה בתוכנה. כל העצמים הללו חולקים את אותן פעולות, אבל לכל אחד יש מרחב זיכרון פנימי נפרד משלו (Van Roy & Haridi, 2004). תכנות עם מחלקות ועצמים נקרא תכנות מבוססת אובייקטים, או תכנות מונחה עצמים (תמ"ע).

טבלה 1 (TIOBE, 2017)

The TIOBE Programming Community index is an indicator of the popularity of programming languages

Jan 2017	Jan 2016	Change	Programming Language	Ratings
1	1		Java	17.278%
2	2		C	9.349%
3	3		C++	6.301%
4	4		C#	4.039%
5	5		Python	3.465%
6	7	▲	Visual Basic .NET	2.960%
7	8	▲	JavaScript	2.850%

מגמה זו הובנה היטב ע"י קברניטי משרד החינוך בתחום התוכנה, אשר היו בין הראשונים בעולם לכלול תמ"ע, בתכנית הלימודים של בתי הספר התיכוניים, במסלול הנדסת תוכנה (המינהל למדע וטכנולוגיה משרד החינוך, 2017).

ההחלטה ללמד תמ"ע בתיכון אינה דבר טריוויאלי, במרבית המקצועות בבית הספר, החומר הנלמד אינו העדכני ביותר, וההוראה מתמקדת בעיקר בהקניית בסיס עליו ניתן לבנות הלאה ללימודי התואר הראשון, והשני. כך הדבר עם גיאומטריה (מלמדים אוקלידית בלבד), פיזיקה (מלמדים ניוטונית בלבד) ובמקצועות מדעיים אחרים. העובדה שבכדי להפנים חומרים מתקדמים יותר, נדרשת מחשבה אבסטרקטית מסדר גבוה, מקשה להכניס חומרים אלו לבית הספר. המושגים האבסטרקטיים של תמ"ע אינם פשוטים להבנה או להוראה, והכנסתם לתכנית הלימודים מהווה אתגר לתלמידים ולמורים. אחד הקשיים הגדולים ביותר עבור התלמידים הוא הפנמת המושג של מחלקה. עד לשנת הלימודים תשע"ו (2016) נבחנו תלמידי מדעי המחשב בשאלון יסודות מדעי המחשב (899222) ללא כל חומרים בתמ"ע. משנת תשע"ד (2014) הוכרזה תכנית חדשה (חובה לכולם לאחר תשע"ו), בה התלמידים ילמדו במסגרת יסודות מדעי המחשב, תמ"ע. עד לשינוי התכנית, היו מלמדים יסודות מדעי המחשב (מדעי המחשב א') ללא תמ"ע, והפעם הראשונה בה נתקלו התלמידים במחלקות הייתה לרוב ביחידת הלימוד הבאה – מדעי המחשב ב'. המעבר ממדעי המחשב א' למדעי המחשב ב', נחשב לקפיצת מדרגה ואחד הקשיים הגדולים ביותר הוא המעבר לתכנות עם מחלקות. גם במגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים, עודכנה תכנית הלימודים, ותלמידי המגמה ילמדו תכנות מבוסס עצמים בשפת C# מכיתה י'. כיום הדרישה היא ללמד את התלמידים עקרונות בסיסיים בתמ"ע כגון מחלקות ועצמים, כחלק מלימודי יסודות מדעי המחשב. המחשבה של לימוד עקרונות בסיסיים בתמ"ע מבורכת בעיני, שכך קודם לכן, היינו מקבעים אצל תלמידים פרדיגמות של תכנות פרוצדורלי תחילה, ולאחר מכן מציגים את הפרדיגמות של תמ"ע. כיום הפרדיגמות של תמ"ע נלמדות כבר כחלק מלימודי היסודות.

יחד עם זאת, הנושא הבסיסי של תמ"ע – נושא המחלקות, עדיין מהווה אתגר הוראה מורכב למורים וקושי רב לתלמידים. לרוב, נושא המחלקות נלמד לאחר שהתלמידים רכשו את הכלים הבסיסיים בתכנות – משתנים, ביצוע מותנה וביצוע חוזר. גם אם מתבצע שימוש בסימולציות או הדגמות של שימוש בעצמים, נושא המחלקות ובנייתן לא נלמד עד שלב מאוחר יותר, ובמקרים רבים מוצג כנושא חדש הנלמד מהגדרה (לרוב באמצעות שקפים) להתנסות שאינה מקושרת לחומרים קודמים שנלמדו. בעיני, ובעיני מורים רבים ששוחחתי עמם על הנושא, מעבר זה, מבניית קוד פשוט עם משתנים בסיסיים, לבניית מחלקה מהווה את המכשול העיקרי והמורכב ביותר בהוראה למורים ובהבנה לתלמידים. מצאתי לעצמי מטרה – לנסות ולמצא מעבר הדרגתי מחוף המבטחים של משתנים, ביצוע מותנה, וביצוע חוזר, אל הים הסוער של עצמים ומחלקות. משוטי הספינה מורכבים משני נושאים: מחרוזות ומערכים. נושא המחרוזות מעולם לא היה נושא שהופיע בצורה דומיננטית במבחני הבגרות, ובתכנית הלימוד הישנה (עד 2014 בו פורסמה התכנית החדשה). ההוראה של נושא המחרוזות הייתה שולית במקרה הטוב. לאחר פרסום תכנית הלימוד החדשה הורד הנושא לגמרי מלימודי יסודות מדעי המחשב, וכעת כמעט ואינו נלמד כלל בכיתה. הוראת נושא המחלקות והעצמים נעשה לרוב אחרי שהתלמידים לומדים את נושא המערכים.

במחקר הפעולה שביצעתי בחרתי ללמד מחרוזות בצורה מעט שונה. הסיבה לכך נעוצה בייחודיות של מחרוזות אשר מאפשרת להתייחס אליה: (1) כסוג של משתנה בסיסי שמאפשר השמה, השוואה וחיבור – זהו עוגן לחומרים שהתלמידים כבר מכירים. (2) כעצם ששומר תכונות (Length) ומאפשר פעולות שונות (Equals, CompareTo, ToUpper...). על העצם, מאמן את התלמידים בשימוש בעצמים (ראשונה. 3) כמבנה נתונים שמזכיר אוסף של תווים, המאפשר מעבר חלק למערכים. המעבר למערכים אמור להיות חלק מאוד ברגע שהתלמידים מפנימים את המושג אינדקס וערך (דבר הנעשה במהלך לימוד מחרוזות). הוראת המערכים היא סטנדרטית, אך חשוב לסיים עם הנושא של מערכים מקבילים, בכדי לעבור לאחר מכן בצורה חלקה למחלקות כמבנה נתונים (מעין struct) בלבד כהתחלה, ומשם לבנות את החומרים בהדרגה עד להבנה מעמיקה של נושא המחלקה. לאחר גיבוש הרעיון החלטתי לבצע מחקר פעולה על קבוצה של 17 תלמידים בכיתה י' ממגמת הנדסת תוכנה, הלומדים יסודות מדעי המחשב בשפת C#. לרובם לא היה רקע קודם בתכנות. המטרה העיקרית בהעמקת ההוראה של נושא המחרוזות היא לפתוח לתלמידים צוהר לעולם העצמים, ומבני הנתונים. בסוף יחידה זו (יחידת המחרוזות), אני מצפה שהתלמידים יכירו ויבינו את המושג עצם, ויוכלו להשתמש בתכונות ופעולות על עצמים ממחלקת string.

במהלך המחקר שמתי דגש על שלשה פרמטרים מרכזיים:

- 1) תוכן – התחלה בנושא מחרוזות, המשך במערכים ובסוף מחלקות.
- 2) דיסקטיקה – בניית חומרי הלימוד בהדרגה תוך קישור בין נושא לנושא, תוך גיש על פתרון בעיות שמתעוררות מתוך צורך. הוראה מהתנסות, ומתן פתרון לצורך, להגדרה, שנובעת מהפתרון.
- 3) תוצרים – בדיקת הבנה באמצעות מעבדות, מבחנים ודיונים בכיתה.

מהלך המחקר

המחקר התחיל ברגע שסיימתי ללמד את התלמידים (בדרכים הסטנדרטיות) את הנושאים של משתנים בסיסיים, ביצוע מותנה וביצוע חוזר. במהלך ההוראה של נושאים אלו, התלמידים גם הכירו את המושג "מחלקת שירות" – כדוגמת Console & Math, והמושג "פעולות שירות" – שמחלקות אלו מספקות (פעולות קלט, פלט ופעולות חשבוניות) והתלמידים הרבו להשתמש.

הוראת נושא המחרוזות - string

הנושא הראשון שמהווה חלק מהמחקר הינו נושא המחרוזות ואני מתחיל אותו בהצגת string כסוג של משתנה בסיסי. התרגילים הראשונים סובבים את הנושאים המוכרים של הכרזה על משתנה מחרוזת, אתחול, השמה, פלט, קלט, אופרטור החיבור שמשמש כאופרטור לשרשור מחרוזות, ושימוש בביצוע מותנה (השוואה בין מחרוזות). להלן דוגמאות טיפוסיות:

```
// מחרוזת כמשתנה
string str1, str2, str3, str4; // הכרזה על מחרוזת
string str = ""; // אתחול מחרוזת
Console.WriteLine("What is your name? ");
str = Console.ReadLine(); // קליטת מחרוזת
if (str == "Josh") // ביצוע מותנה
    str = "Hello " + str + ", have a nice day!"; // שרשור
else
    str += ", goto work!!"; // שרשור
Console.WriteLine(str); // פלט
str4 = "Josh"; // השמה
str1 = "Jo";
str2 = "sh";
str3 = str1 + str2; // שרשור
if (str4 == str3) Console.WriteLine("=> Same Same");
else Console.WriteLine("=> No same");
```

המחרוזות משולבות בתרגילים שונים שהתלמידים מבצעים במעבדה, כגון מציאת ערך נלווה למקסימום/מינימום שהינו מחרוזת, בניית מחרוזות בלולאה לפי תנאי השאלה והצגת פלט המחרוזת לאחר תום הלולאה וכדומה. מכיוון שהתלמידים כבר מכירים היטב את סוג התכנות עם משתנים, הוספת המחרוזות לארגז הכלים שלהם, קל וטבעי.

השלב השני בהוראת מחרוזת מתמקד במבט על מחרוזות כעצמים, ללא הגדרה מפורשת של המושג עצם. תחילה אני מציג לתלמידים שאלה שתעורר את הצורך בתכונה Length של מחרוזת. לדוגמה, קליטת סיסמה, ויודי שאורכה לפחות שמונה תווים, ומתן פלט בהתאם. בשלב זה, התלמידים זיהו את הצורך במציאת אורך מחרוזת, ושאלו אם יש דרך למצוא אורך זה. אני מספר לתלמידים שישנה דרך כזו, ולכל מחרוזת ישנה תכונה מספרית מיוחדת הנקראת Length, בה נשמר הערך של אורך המחרוזת, כלומר כמות התווים במחרוזת. השימוש בתכונה מובן וטבעי, והתלמידים קיבלו בצורה קלה את ההבנה שלכל מחרוזת ישנה תכונה ייחודית לה, כלומר התלמידים מתחילים לחוש

בהתנסות את המושג של תכונה ייחודית של עצם. התלמידים לומדים להשתמש בתכונה זו והשמת הערך במשתנה של מספר שלם (`int x = str.Length`) ומתאמנים בכתיבת קוד שדורש שימוש בה. דוגמה לשאלה יכולה להיות קליטת שמות המשפחה של כל תלמידי הכיתה, והצגה כפלט את אורך השם עם כמות התווים הגדולה ביותר, כגרסה פשוטה, או בגרסה מורכבת יותר, הצגה כפלט את כל שמות המשפחה בכיתה שאורכם הוא מקסימלי (ייתכנו כמה, והתלמידים ידרשו לבנות מחרוזת עם השמות במהלך הלולאה).

כעת מגיע שלב הפעולות, וגם כאן אני מתחיל בשאלה שמעלה את הצורך: קליטת שני מחרוזות המייצגות שמות (בדוגמה שלקחתי שני שמות משתמש – `user`), ובדיקה אם שני השמות זהים. אני מזכיר לתלמידים, שכידוע, בשמות משתמש אין חשיבות לאותיות גדולות או קטנות (`not case sensitive`). תלמידים ענו, שאם הייתה דרך להפוך את כל המחרוזת לאותיות גדולות או לאותיות קטנות, היה קל לבדוק זאת. וכאן אני מספר לתלמידים, שגם כשהמציאו את `string`, חשבו בדיוק כמוכם וכתבו פעולה שמופעלת על מחרוזת ומחזירה מחרוזת חדשה שכל האותיות האנגליות בה גדולות (וכמובן ישנה פעולה מקבילה לאותיות קטנות). בשלב זה יש צורך להדגיש את הנושא של הפעלת פעולה על המחרוזת תוך שימוש בסוגריים, והשמת התוצאה למחרוזת חדשה (בשאלה בכיתה: `string strUp = str.ToUpper()`). לאחר כתיבת הפתרון אני מציג לתלמידים פעולות נוספות המופעלות על מחרוזות. תחילה פעולה פשוטה שדורשת השמת פרמטר בסוגריים, כדוגמת הפעולה `CompareTo` או `Equals`, בכדי שהתלמידים יחוו את הצורך בפרמטרים ויבינו את משמעות הסוגריים בשימוש בפעולות על מחרוזות (נושא הפרמטרים אינו קשה להבנה שכן הם כבר רגילים בשימוש בפרמטרים והחזרת ערכים מפעולות שירות במחלקה המתמטית). להלן מספר דוגמאות קוד עליהם עברנו בכיתה בכדי ללמוד את נושא המחרוזות מנקודת מבט של עצם עם תכונות עליו מופעלות פעולות:

// מחרוזת כמחלקה

```
str3 = "josh"; // שימו לב האותיות האנגליות קטנות
int myNameLength = str4.Length; // שימוש בתכונה אורך מחרוזת
Console.WriteLine(str4 + " has " + myNameLength + " characters ...");
// שימוש בפעולה ממחלקת מחרוזת
if (str4.Equals(str3)) Console.WriteLine("Equals Method, Same Same");
else Console.WriteLine("Equals Method, No same");
// הופכים את שתי המחרוזות לתווים גדולים
str3 = str3.ToUpper(); // שימוש בפעולה ממחלקת מחרוזת
str4 = str4.ToUpper(); // שימוש בפעולה ממחלקת מחרוזת
if (str4.CompareTo(str3) == 0)
    Console.WriteLine("CompareTo Method, Same"); // שימוש בפעולה ממחלקת מחרוזת
else Console.WriteLine("CompareTo Method, No same");
// השוואה לפי סידור מילוני
str1 = "Apple"; // שנו לזברה לאחר הרצה ראשונה וראו את ההבדל
str2 = "Banana";
if (str1.CompareTo(str2) < 0) Console.WriteLine(str1 + ", " + str2);
else if (str1.CompareTo(str2) > 0) Console.WriteLine(str2 + ", " + str1);
else Console.WriteLine("Same Word...");
```

גם כאן, לאחר שהתלמידים התאמנו במספיק שאלות הדורשות שימוש בפעולות על מחרוזות, נראה שההבנה שעל כל מחרוזת ניתן להפעיל פעולה ייחודית לה, מחלחלת לתודעתם, כלומר התלמידים מתחילים להפנים את המושג "עצם" מהתנסות, ללא הגדרה רשמית. כשאני חש שהתלמידים מרגישים בנוח עם פעולות על מחרוזות, אני מגדיר להם לראשונה, שנתון אשר יש לו תכונות וניתן להפעיל עליו פעולות נקרא עצם (במקום משתנה), ושניתן להסתכל על נתונים מסוג מחרוזת

כעצמים. בנוסף, טיפוס הנתונים של עצם נקרא מחלקה `string` היא דוגמה לכך. הגדרה זו מתקבלת בקרב התלמידים בצורה חלקה יחסית, שכן הם כבר התנסו ועליהם לשים את התוויות החדשות שנלמדו על הדברים שכבר ידועים להם מכתובת הקוד. אני מסביר שלכל טיפוס נתונים כזה (מחלקה) יש דף שלם של הסברים על התכונות והפעולות שלו, הנקרא ממשק, ויחד אנו גולשים לאתר של מיקרוסופט ועוברים על ממשק המחלקה `string`. אני מבטיח לתלמידים, שבעתיד הלא רחוק, אנו נלמד לתכנת ולייצר טיפוס נתונים (מחלקות) משלנו, לפי צרכינו.

בשלב האחרון של הוראת מחרוזות אני מתמקד במבט על מחרוזות כמבנה נתונים – כאוסף של תווים. וכרגיל, התחלתי בשאלה שממחישה את הצורך: נניח שעליכם לכתוב לעבודת הבית חיבור באנגלית בין מאה מילים לפחות. נכתוב תכנית שתקלוט את החיבור שלכם כמחרוזת, ותציג כפלט האם עמדתם במשימה של 100 מילים לפחות. כלומר על התכנית למנות את כמות המילים במחרוזת. ביצענו דיון בכיתה על השאלה, והתלמידים הציעו לפתור את הבעיה ע"י ספירת הרווחים. ואז התחלתי דיון בכיתה, ובקשתי רעיונות כיצד הם היו משנים את הטיפוס מחרוזת, כך שניתן יהיה לעבור על כל התווים במחרוזת. במהלך הדיון בכיתה מספר תלמידים הציעו לתת סימון למחרוזת, ע"י מספור התווים. שמחתי על ההצעה, והודעתי לתלמידים שיוצרי המחלקה מחרוזת חשבו כמוהם, ומספרו את תווי המחרוזת מאפס, והלאה. בשלב זה הוצגה צורת המספור, וצורת סריקת המחרוזת, ופתרנו יחד את השאלה.

הערה: באחד התסריטים שהכנתי לפני השיעור, חשבתי שאחד התלמידים ינסה להיעזר בפעולות על מחרוזות, לדוגמה: `str.Length.Split(' ').Count` אך, אף תלמיד לא הציע זאת בפועל. במידה והיו מציעים, הייתי מבקש מהם להתעלם לרגע מהעובדה שניתן לבצע פעולות על מחרוזות ולנסות למצא פתרון אחר. לאחר כתיבת הפתרון עם התלמידים פתרנו בעיות שונות תוך שימוש בסריקת תווי המחרוזת. שמנו דגש על כתיבת קוד שמדמה את הפעולות של המחלקה מחרוזת. התלמידים חשו העצמה והצלחה מהעובדה שהם הצליחו לייצר באמצעות קוד שלהם את התוצרים של פעולות `string` רבות, שנכתבו במיקרוסופט. להלן מספר דוגמאות קוד עליהם עברנו בכיתה בכדי ללמוד את נושא המחרוזות מנקודת מבט של מבנה נתונים (כאוסף תווים):

// מחרוזת כאוסף של תווים

```
int i, count = 0; // מונה למניית מספר הרווחים במחרוזת
for (i = 0; i < str.Length; i++) // שימוש בתכונה אורך מחרוזת
{ if (str[i] == ' ') count++; }
Console.WriteLine(str + "---->has " + count + " spaces !!!");
// מימוש הפעולה שהופכת אותיות קטנות לגדולות במחרוזת
char ch;
string str5 = "Josh@Jmail.com", str6 = "";
for (i = 0; i < str5.Length; i++) // שימוש בתכונה אורך מחרוזת
{
    ch = str5[i];
    if (str5[i] >= 'a' && str5[i] <= 'z') ch = (char)(ch - ('a' - 'A'));
    str6 += ch;
}
Console.WriteLine(str6);
```

// חילוף שם משתמש בלבד

```
i = 0;
bool stayInTheLoop = true;
str6 = "";
while (i < str5.Length && stayInTheLoop)
{
```

```

ch = str5[i];
if (ch == '@') stayInTheLoop = false;
else str6 += ch;
i++;
}
Console.WriteLine("{0}, welcome to Jmail.",str6);

```

// אותו חילוף עם פעולות המחלקה

```

Console.WriteLine(str5.Substring(0,str5.IndexOf('@')) + ", welcome to Jmail.");

```

בסוף יחידה זו, ביצענו דיון מסכם בו העלנו את התובנות החדשות שלמדנו, תוך דגש על עצמים. מבדק שערכתי בכיתה בתום הנושא העלה תוצאות חיוביות שתאמו לתוצאות של מבחן קודם (הממוצע אף עלה ב 1.7 נקודות). כלומר, כתיבת קוד תוך שימוש בעצמים לא השפיעה לרעה על השיגי התלמידים והמעבר מתכנות עם משתנים בסיסיים בלבד לתכנות עם עצמים מסוג מחרוזת עבר בהצלחה רבה. בשיחות שערכתי עם תלמידים, נראה שהם מתחילים להפנים את השימוש והמשמעות של המושג עצם. השלב הבא הוא לימוד נושא המערכים.

הוראת נושא המערכים

לימוד נושא המערכים הוא סטנדרטי, כפי שמומלץ על פי תכניות הלימוד ומופיעים בספרים השונים. לא ערכתי שינויים כלשהם בצורת ההוראה של הנושא. כמובן שהידע שצברו התלמידים על מחרוזות (מחרוזת כאוסף תווים), תורם רבות להבנת הנושא ומהווה כניסה חלקה ומהירה לעולם המערכים, מכיוון שנושא האינדקסים כבר נטמע בראש התלמידים. במהלך הלימוד, יש להדגיש את שמחרוזת אינה מערך של תווים, ולהסביר את ההבדלים. המעבר מנושא המערכים למחלקות הוא מאוד חשוב, וצריך להתבצע מתוך צורך שמתעורר. חשוב מאוד שבסוף הוראת נושא המערכים יבינו התלמידים את המושג מערכים מקבילים – כלומר מספר מערכים באורכים זהים, אשר האינדקסים קושרים קשר לוגי בין הנתונים במערכים.

הוראת נושא המחלקות

בתום סיום נושא המערכים אני מציג לתלמידים את השאלה הנ"ל:
"חישוב ציוני הבגרות הסופיים במדעי המחשה מתבצע כך: 30% ציון פנימי על פרויקט תכנות בסביבת אינטרנט, 70% מבחן בכתב אשר 30% מתוכו הוא ציון מגן ו70% מתוכו הוא ציון בחינת הבגרות. כתבו תכנית אשר תקלוט את נתוני תלמידי הכיתה לארבעה מערכים מקבילים:

- מערך ראשון של מחרוזות לשמות התלמידים
- מערך שני של שלמים לציוני הפרויקט
- מערך שלישי של שלמים לציוני המגן
- מערך רביעי של שלמים לציוני בחינת הבגרות

על התכנית לחשב ולהציג כפלט את ציון הבגרות הסופיים של כל תלמיד".

את השאלה אני נותן כשיעורי בית בכדי לא לבזבז זמן יקר בכיתה. התלמידים מגיעים לשיעור במעבדה עם הפתרון שלהם לתרגיל. אנו מתחילים דיון על התרגיל ועל הפתרונות שהתלמידים נתנו, ואני מצייר את המערכים המקבילים על הלוח (טבלה 2):
טבלה 2: מערכים מקבילים

אינדקס	0	1	2	n-1
שם	Rahav	Josh	Mosh		Miri
ציון פרויקט	90	100	90		100
ציון מגן	95	90	90		100
ציון בחינת בגרות	85	80	90		100

אני שואל את התלמידים: מה קורה בפועל, ביום הורים? האם כאשר תלמידים מגיעים עם ההורים למחנכת, היא מוציאה מספר חבילות של דפים, כאשר בחבילה אחת רשומים שמות התלמידים, בחבילה שניה ציוני מבחן אחד, בחבילה שלישית מבחן אחר וכך הלאה... ואז בכדי להעביר להורים את הנתונים המחנכת קופצת מרשימה לרשימה, ומוציאה לפי המיקום את הנתונים הדרושים? התלמידים צוחקים, ומסבירים לי מיד שאני לא מעודכן, ולכל תלמיד ישנו גיליון משלו עם כל הנתונים והציונים, ואין צורך לקפוץ בין רשימות. ישנה חבילה אחת, ובה גיליון לכל תלמיד, עם כל הציונים.

אם כך אני אומר, תוך חזרה אל הלוח, לטענתכם הגיוני יותר לאגד את כל הנתונים בצורה הבאה (ואני עוקף בעיגול אדום על הלוח את צביר הנתונים לכל תלמיד, טבלה 3):
טבלה 3: איגוד נתונים עבור כל תלמיד ועיקוף בעיגול אדום

אינדקס	0	1	2	n-1
שם	Rahav	Josh	Mosh		Miri
ציון פרויקט	90	100	90		100
ציון מגן	95	90	90		100
ציון בחינת בגרות	85	80	90		100

למזלנו, אני אומר, אנו יכולים לאגד מספר נתונים, או תכונות, כפי שאנו נוהגים לומר, יחד במסגרת מחלקה. בשלב הזה אני מתחיל בבניית המחלקה על המחשב שלי, תוך הקרנת הקוד על הלוח. יחד עמי התלמידים כותבים את הקוד. אני מתאים את הקצב לכיתה, ומוודא שכולם איתי, תוך הסברים של כל שלב, החל מכותרת המחלקה, והיכן רושמים אותה, והגדרת התכונות כפי שהוגדרו בשאלה. בשלב זה כל התכונות מוגדרות כפומביות. במקביל ליצירת המחלקה החדשה, אנו יוצרים ב main את ההכרזה על טיפוס הנתונים החדש שיצרנו. לאחר ההכרזה והגדרת המשתנה, אני מסביר לתלמידים שלא ניתן לעשות השמה פשוטה כפי שעושים עם משתנים, שכן, לטיפוס החדש מספר רב של תכונות, ואתחולם נעשה באמצעות פעולה מיוחדת לה קוראים פעולה בונה. אני מסביר את החוקים, ואנו רושמים יחד את הפעולה הבונה במחלקה, ומיד לאחר מכן, משתמשים בה ב main ויוצרים את העצם הראשון שלנו מסוג המחלקה. אנו בונים יחד את הקוד לחישוב הציון הסופי, תוך שימוש בתכונות העצם. להלן הקוד שבנינו יחד:

```
class StudentGrades
{
    // תכונות המחלקה
    public string _name; // שם התלמיד
    public int _ProjectGrade, _SchoolGrade, _ExamGrade; // ציוני התלמיד
    // הפעולה הבונה - משמשת לבנייה ואתחול תכונות העצם
    public StudentGrades(string name, int ProjectGrade, int SchoolGrade, int ExamGrade)
    {
        // השמת ערכי הפרמטרים המתקבלים לתוך תכונות העצם
        _name = name;
        _ProjectGrade = ProjectGrade;
        _SchoolGrade = SchoolGrade;
        _ExamGrade = ExamGrade;
    }
}
class Program
{
    static void Main(string[] args)
    {
```

```

// הכרזה על עצם מסוג מחלקת ציוני תלמיד //
StudentGrades sg1;
// בניית העצם ואתחולו בנתונים //
sg1 = new StudentGrades("Josh", 90, 95, 85);
double FinalGrade; // משתנה לחישוב הציון הסופי //
// חישוב הציון הסופי, תוך שימוש בתכונות העצם //
FinalGrade = 0.3 * sg1._ProjectGrade;
FinalGrade += 0.7 * ((0.3 * sg1._SchoolGrade) + (0.7 * sg1._ExamGrade));
// הצגת הציון הסופי לתלמיד //
Console.WriteLine(sg1._name + " final Grade: " + FinalGrade);
}
}

```

למעשה, במעבדה זו, התלמידים יוצרים יחד איתי בפעם הראשונה מחלקה מאוד מנוונת, אשר משמשת כמבנה נתונים בלבד (מעין struct). בשיעור המעבדה הבא אנו מתקדמים עוד צעד קטן, ויוצרים יחד את הפעולה הראשונה (שאינה פעולה בונה) במחלקה. אני מסביר, שמכיוון וכל הנתונים הדרושים לחישוב הציון הסופי נמצאים בעצם, אין סיבה שמלאכת החישוב תתבצע ב main, ואת תבנית החישוב נבנה במחלקה. למעשה אנו מעבירים את קוד החישוב שכתבנו בפעולה הראשית לתוך המחלקה. בשלב הזה אני מסביר את חוקי כתיבת הפעולה, ומזכיר לכולם, שהשתמשנו בפעולות על עצם במחרוזות, קישור זה מחזק את ההבנה של כתיבת הפעולה. כמובן שאנו משנים את הפעולה הראשית, וחישוב הציון הסופי מתבצע ע"י הפעלת פעולה אחת על העצם. בהמשך המעבדה אני נותן לתלמידים ליצור לבד פעולות נוספות במחלקה, כגון הצגת כל נתוני התלמיד וכדומה. במהלך מעבדות ראשונות אלו, חשתי התלהבות רבה אצל התלמידים מעצם האפשרות של יצירת טיפוס נתונים המכילים מספר משתנים, הפותרת בעיה אמיתית שנתקלנו בה. תחושה זו התחזקה כאשר גילו התלמידים שהם יכולים לכתוב פעולות רלוונטיות לטיפוס הנתונים שלהם, ולהפעילן בקלות מכל מקום. בזמן מעבדות ראשונות אלו, ראיתי שרוב התלמידים מצליחים לכתוב קוד לבדם ומתחילים להבין את הייחוד של מחלקה, כמבנה שמאפשר קיומם של תכונות ופעולות בקפסולה אחת. השלב האחרון במחקר הפעולה שלי, היה להנגיש לתלמידים, באמצעות הרחבת הבעיה, את הצורך והחשיבות בהרשאות פרטיות לתכונות. אני מספר לתלמידים, שעקב קיום מועד ב' לבחינת הבגרות אנו נשנה את הפעולה הראשית שלנו (main), ונקלוט בסוף התכנית ציון חדש של מועד ב' בבגרות, ונחשב מחדש את הציון הסופי לאחר עדכון התכונה. התלמידים מחייכים ומתקנים בזריזות את הקוד:

```

sg1._ExamGrade = int.Parse(Console.ReadLine());

```

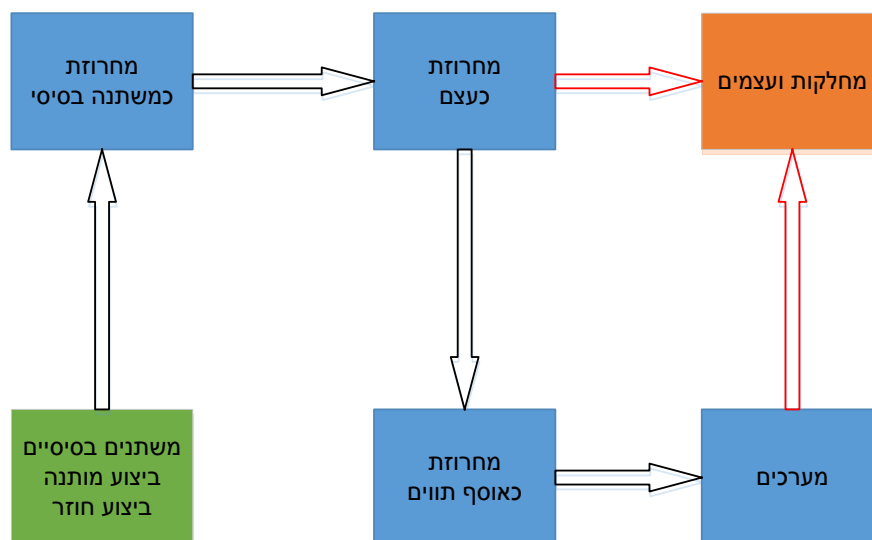
מפעילים את פעולת חישוב הציון הסופי על העצם, ומציגים את התוצאה. בזמן ההרצה, אני מכניס כוונה את הערך 17- כקלט לציון. התלמידים מיד זועקים שאני מרמה, ואין בכלל ציון כזה. כתגובה, אני מסביר, שלנו כבוני המחלקה, ישנה דרך להגן על התכונות שלנו, ע"י הפיכתן לתכונות פרטיות במחלקה (private), וכך למנוע אפשרות של שינוי לא מבוקר. כשאנו משנים את ההרשאה לפרטית, התלמידים רואים שאין אפשרות לגשת לתכונה, וכשאני שואל כיצד בכל זאת נעדכן את ערך התכונה, הציעו מספר תלמידים לא קטן, לכתוב פעולה שתעשה זאת. אנו כותבים את הפעולה ומאפשרים עדכון רק עם הערך שמתקבל הוא בין 0 ל 100. כעת אני מסביר ששינוי ההרשאה הוא גורף, ואין אפשרות גם לאחזר ציון הבחינה מהמחלקה הראשית, אם נרצה בכך, ולכן גם לאחזור הערך דרושה פעולה. וכך מתוך צורך והתנסות, אנו לומדים על חשיבות ושימוש בהרשאות ואת נושא הפעולות הקובעות והמאחזרות.

בשלב זה מהעבודה הפורייה של התלמידים במעבדות ותגובות התלמידים, הבנתי שכנראה נוצר החוט המקשר בין שלל הנושאים הקודמים שלמדו התלמידים, החל ממשתנים, ביצוע מותנה, וביצוע חוזר, דרך מחרוזות ומערכים, לבין נושא העצמים והמחלקות. המעבר היה חלק והרגשתי שהתלמידים מוכנים לפורמליזציה של הנושא, ובשיעור התיאורטי הבא הצגתי את מצגת העצמים והמחלקות, עם כל ההגדרות הרשמיות. בניגוד לשנים עברו, שם חשתי שתלמידים מתבלבלים כאשר

מתחילים בהגדרות, בקבוצת הניסוי שלי, התלמידים הפנימו מיד את ההגדרות שכן הם כבר התנסו והנושא אינו זר להם. במעבדות שלאחר מכן, המשכנו עם חומרי הלימוד הרגילים מהספרים והמשכנו לבנות ולתרגל מחלקות (נקודה, תאריך, שבר רציונאלי וכו'). הופתעתי מאוד לאחר המבחן שערכתי (בערך אחרי שהתלמידים בנו את המחלקה נקודה). מניסיון העבר (בשנים שלימדתי ללא מחרוזות, והתחלתי בהגדרת הנושא ממצגת), לאחר שלומדים בניית מחלקות, ישנה נפילה בתוצאות המבחנים, שכן לוקח לתלמידים זמן רב להפנים את הנושא, ולעבור מפרדיגמה של תכנות פרוצדורלי לתכנות מונחה עצמים. אני ציפיתי שעקב הניסוי יהיה שיפור משנים עברו והנפילה בציונים לא תהייה גדולה, והעזתי לקוות שתישאר במוצק זה של המבחנים הקודמים שהיו במהלך השנה. להפתעתי ולשמחתי הרבה, ממוצע הציונים עלה בכשמונה נקודות. משיחות עם תלמידים, קיבלתי תגובות מאוד מעודדות לגבי הוראת נושא המחלקות, וניקרת הפנמה של הנושא שבאה לידי ביטוי בכתיבת קוד נכון במעבדות והצלחה במבדקים.

סוף דבר

אני חייב לציין שבמהלך מחקר הפעולה, בזמן הדיונים והמעבדות האווירה הדהימה אותי. העלינו בעיות וניסינו לפתור אותם יחד, תוך הנגשת כלים חדשים לפתרון. נראה שהתלמידים היו מלאי סקרנות, והייתה ניקרת הבנה וגילוי של התלמידים לאורך כל הדרך. לאחר מעשה, כשחיפשתי מודל תיאורטי אשר מזכיר את צורת הלמידה שעברו התלמידים יחד איתי, התחברתי מאוד למודל הלמידה ההתנסותית של קולב (1983) הנקרא גם מעגל הלמידה ההתנסותית. כפי שגורסת תאוריית למידה זו, במעגל ארבעה שלבים המתפתחים זה מזה: התנסות קונקרטי, תצפיות ורפלקציה, הבנייה של מושגים מופשטים ושימוש במושגים במצבים חדשים (דרסלר, 2013). ניתן לראות שגם במחקר הפעולה שלי, התחלנו עם בעיה, ובאמצעות שימוש בכלים קודמים ומציאת כלים חדשים התנסונו בפתרונה במעבדה. הדיון שנעשה בכיתה על הפתרונות והדרכים החדשות בהחלט מזכיר תהליך של התבוננות רפלקטיבית על מה שביצענו, ומשם יצאנו להגדרה הפורמלית והבניית המושגים החדשים שלמדנו בהתנסות. נושאים חדשים אלו היו החוט המקשר לנושאים הבאים. ניתן לראות את היררכיית הנושאים בתרשים הבא, ונושא המחרוזות מהווה מקשר עיקרי בין הנושאים השונים (תרשים 1):



תרשים 1: היררכיית הנושאים שעלו בדיון שנעשה בכיתה סביב פתרון בעיות והקשר לנושא המחרוזות

ניתן לראות שמבחינת התוכן הנלמד נראה שעמדנו בכל נושאי הלמידה בצורה מלאה ואף מעבר לכך, שכן נושא המחרוזות נלמד בהרחבה. המטרה המקורית הייתה ליצור חוט מקשר בדמות נושא המחרוזות בין נושאי הלימוד הבסיסיים לבין נושאי הלימוד המורכבים של מחלקות ועצמים הנמצאים בלב התכנות מונחה עצמים. חוט מקשר זה אכן נוצר, ותוצאות המבחנים, המעבדות המוצלחות ותגובת התלמידים מחזקים את יעילותו. יחד עם זאת, ציפיתי שהוספת נושא המחרוזות אמנם יעזור להפנמת הנושא של מחלקות אך יגזול ממני זמן נוסף שכן הנושא לא נמצא בתכנית הלימודים. התוצאות היו הפוכות, לא רק עמדתי בלוחות הזמנים של תכניות הלימוד, אלא שהזמן שנדרש לי ללמד מערכים ומחלקות התקצר בצורה משמעותית, כך שבסך הכל חסכתי למעלה מחודש

של הוראה, מה שהשאייר לי זמן להתעמק עם התלמידים בנושאים נוספים. אף על פי כל הנאמר, עלי לציין שזהו ניסוי ראשון שלי עם תלמידים, ללימוד מחלקות בצורה כזו, וייתכן שקבוצת התלמידים שהגיעה אלי השנה, חזקה במיוחד. אני מקווה כי המשך הניסוי בשנה הבאה עם תלמידי המחזור הבא, יחזק את הממצאים שאני מציג במחקר זה, בתקווה שלימוד והוראת נושא המחלקות לא תהווה מכשול עוד.

מקורות

דרסלר, מ'. (2013). מעגל הלמידה ההתנסותית של קולב. אאוריקה (36), 1-8.

המינהל למדע וטכנולוגיה, מ'. (2017). מדעי המחשב, הנדסת תוכנה וסייבר. אוחזר מתוך תוכניות לימודים: http://cms.education.gov.il/EducationCMS/Units/MadaTech/csit/TochnitLimudim/tichon/ogd_antekem_handesatohna.htm

לפידות, ת'. (2014). תכנות מונחה עצמים היסטוריה על קצה המזלג. הבטים בהוראת מדעי המחשב, 24-24.

Kolb, D.A., (1983). *Experiential Learning Experience: as Source of Learning and Development*, Prentice-Hall, Englewood cliffs, New-Jersey.

TIOBE .(2017) .TIOBE Index אוחזר מתוך <http://www.tiobe.com/tiobe-index/>

Tzilla, E., Filman R. & Bader A (2001). Aspect-oriented Programming: Introduction. *Communications of The ACM*, 29-32.

Van Roy, P. & Haridi, S. (2004). *Concepts, Techniques, and Models of Computer Programming*. MIT press.

טיפוח חשיבה המצאתית-שיטתית (SIT) והכוונה עצמית בלמידה (SRL) בתהליכי איתור תקלות ופתרון בעיות בקרב מומחים בתעשייה

ד"ר דוד אלברט ופרופ' משה ברק
המחלקה להוראת המדעים והטכנולוגיה
אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

תקציר

המחקר הנוכחי מכוון לשני תחומים ייחודיים בתהליכי פתרון בעיות וחשיבה המצאתית בקרב מומחים בתעשייה. האחד, הוראת השיטה של "חשיבה המצאתית-שיטתית" (SIT) לשימוש בפתרון בעיות ופיתוח מוצרים חדשים. התחום השני הוא טיפוח "הכוונה עצמית בלמידה" (SRL) המורכבת מקוגניציה, מטא-קוגניציה ותחושת מסוגלות עצמית בקרב מומחים בהנדסה. במחקר פותחה סדנא של 30 שעות להוראת SIT ו-SRL לחמש קבוצות של 20-25 מומחים בתעשייה (סה"כ: n=110). הסדנא כללה הרצאות, דיונים, משחקים ופתרון בעיות הנדסיות מקוריות. במחקר נעשה שימוש משולב הן בשיטה כמותית והן בשיטה האיכותנית. איסוף הנתונים נעשה בשיטות מגוונות: שאלונים, ראיונות, מבחני פתרון בעיות, תצפיות ותיעוד פעילויות בכתב ובמקומות העבודה. הממצאים מצביעים על כך שהמשתתפים שיפרו באופן משמעותי את כישוריהם בזיהוי בעיות אפשריות במערכות נתונות, והציעו יותר פתרונות יצירתיים ופחות פתרונות סתמיים לבעיות אלה. המשתתפים דיווחו שחשיבתם השתנתה. היא נעשתה יותר שיטתית בכל הקשור לניתוח הבעיה לעומקה וניתוח המצבים השונים, ויעילה יותר בכל הקשור לבחירת פתרונות מתאימים.

מבוא

קיימת הסכמה רחבה כי אחד מאתגרי החינוך כיום ובמיוחד בחינוך הטכנולוגי, הוא טיפוח החשיבה היצירתית בתחומים כגון: פתרון בעיות, תיכון וחדשנות של מוצרים חדשים ושירותים. דרישה זו חיונית לא רק למסגרת המקובלת של כתות א'-ב', אלא גם עבור מסגרות ההשכלה הגבוהה ופיתוח מקצועי של צוותי ניהול והנדסה במקומות העבודה.

למרות הכמות העצומה של ספרות הדנה ביצירתיות וביכולות לפתרון בעיות, השאלה המעסיקה את החוקרים בתחום היא כיצד ניתן לשפר את יכולת פתרון הבעיות והחשיבה ההמצאתית של התלמידים והמהנדסים. אחת מאבני הנגף להשגת המטרה, היא התפיסה המקובלת שיצירתיות הינה מתת-אל שניתנה לחלק מבני-האדם ואצל כלל בני האדם ניתן לשפרה מעט באמצעות הכוונה ישירה. מכשול נוסף נמצא בידיעה כי ללמד אנשים שיטות להעשרת רעיונות "לא מקובלים" ו"מפתיעים" נשמע כאוקסימורון.

כתוצאה מכך, הלימודים בטיפוח יצירתיות ובפתרון בעיות מתמקדים בתיכון טכנולוגי בעיקר ביצירת אווירה, או תנאים ליצירתיות, או לעידוד התלמידים "לחשוב מחוץ לקופסה". לדוגמא: בין השיטות, המקובלות לחיפוש רעיונות חדשים נמצא את השיטות "סיעור מוחות" (Osborn, 1963), "חשיבה מתכנסת" ו"חשיבה מתבדרת" (de Bono, 1992) שכוונתם, למעשה, היא העשרת רעיונות באופן אקראי.

לדוגמא: אחת השיטות היצירתיות הנזכרת לעתים תכופות בספרות העוסקת ב"סיעור מוחות", היא לבחור במילה אקראית ולחשוב על אפשרויות רבות, ככל האפשר, של קישור המילה עם הבעיה שיש לפתור. לעיתים מומלץ לפרק את המילה למאפייניה ולחשוב על תפקודים, שימושים, קישורים, שינויים, הקבלות, או ניגודים, שניתן למצוא בין המילה לבעיה. כל הטכניקות האלה מתבססות על התקווה שחיפוש אקראי, בכיוונים שונים, יכול להוביל למציאת רעיון חדש, מועיל.

קושי נוסף שלעיתים קרובות משתלב במאמצים לטיפוח יצירתיות בקרב תלמידים צעירים ומהנדסים מומחים, הן התוכניות ללימוד חשיבה יצירתית. לעיתים תכופות הן מתכוונות אך במעט לספרות הרחבה העוסקת בקוגניציה ובלמידה, כגון: טיפוח מטא-קוגניציה ושיקוף תהליכי חשיבה המצאתית ופתרון יצירתי של בעיות. לדוגמא: על-פי רונקו (Runco, 2015), פרוש המושג "מטא-קוגניציה" הוא שימוש במה שנלמד מהמחקר היצירתי על יצירתיות בכדי להיות יותר יצירתי, או

"להיות יצירתי לגבי יצירתיות". אך הן יצירתיות והן הדרך להפוך ליצירתי עטופים במעטה של מסתוריות. ואן דה-קאמפ ועמיתיו (Van de Kamp et al., 2015) מצאו כי לחשיפה של הנחיות לגבי ידע מטא-קוגניטיבי בהקשר של חשיבה מתבדרת באמנות חזותית, יש השפעה חיובית על הזרימה והגמישות אך לא על המקוריות. מכאן, לימודים אשר עשויים לסייע בטיפוח מטא-קוגניציה בחשיבה המצאתית בטכנולוגיה והנדסה, הינם נדירים, באופן יחסי. לפיכך, שאלת המחקר שהנחתה את המחקר הנוכחי נסמכת על יעילות לימוד שיטת חשיבה המצאתית-שיטתית ופתרון בעיות בצמידות לטיפוח הכוונה עצמית בלמידה, בטכנולוגיה והנדסה.

במחקר הנוכחי, אנו מכוונים לנושאים אלה מתוך שני תחומים ייחודיים: הראשון, הוראת שיטות מתוך "חשיבה המצאתית-שיטתית" (Systematic Inventive Thinking - SIT) למהנדסים מומחים. השני, הוראת "הכוונה עצמית בלמידה" (Self-regulated learning - SRL) בפתרון בעיות הנדסיות וחשיבה המצאתית. הפרקים הבאים כוללים סקירה של הספרות בנושאי SLR ו-SIT, תיאור מחקר החלוץ, תכנים ושיטות להנחיית סדנא ללימוד SLR ו-SIT, שעברו חמש קבוצות של מהנדסים מומחים במקום עבודתם. כמו כן יידונו ממצאים מהמחקר לגבי מידת ההשפעה של הסדנא על הישגי המשתתפים בסיום הסדנא וכשלושה חודשים אחרי סיום הסדנא וגישתם כלפי למידת חשיבה המצאתית בפתרון בעיות וההשלכות היישומיות למחקר זה על החינוך הטכנולוגי.

סקירת ספרות

חשיבה המצאתית שיטתית (SIT - Systematic Inventive Thinking)

המונח "חשיבה המצאתית" בהנדסה ובטכנולוגיה, מתייחס למציאת פתרון מקורי ויעיל לבעיה, או להמצאתו של מוצר, או שרות, חדש. "חשיבה המצאתית-שיטתית" (SIT) היא שיטה למציאת פתרון לבעיה באמצעות יצירת חלופות, או ביצירת פעילויות מאולצות ברכיבי המערכת ובתכונות השונות במקום לחפש באופן אקראי אחר רעיונות, תוך שימוש בשיטות כגון סיעור מוחות. שיטת SIT (Horowitz, 2001; Turner, 2009; Boyd & Goldenberg, 2014), נגזרת מתוך תאוריית TRIZ (Altshuler, 1988). העוסקת בפתרון המצאתי של בעיות (Altshuler, 1988).

בין העקרונות, או ה"כלים", הנלמדים בקורס נמצאים:

תכסיס האיחוד: פתרון בעיה באמצעות הטלת תפקיד חדש על מרכיב קיים במערכת.

תכסיס המכפלה: פתרון בעיה על ידי הצגת העתק מותאם של גורם קיים במערכת לתוך המערכת הקיימת.

תכסיס החלוקה: פתרון בעיה על-ידי חלוקה, חיתוך או פירוק של גורם או תת-מערכת וארגון מחדש של המרכיבים.

שינוי קשר בין משתנים, או בין תכונות: פתרון בעיה על-ידי הוספה, הסרה, או שינוי, ביחסים בין משתנים, או תכונות.

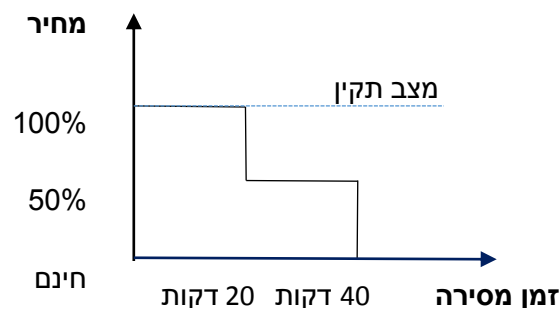
תכסיס ההחסרה: פתרון בעיה על ידי הסרה של גורם במערכת (יחד עם תפקודו העיקרי).

תכסיס ההיפוך: פתרון בעיה על ידי היפוך של מבנה, או תפקוד, של רכיבים במערכת.

הדוגמה הבאה מדגימה כיצד ניתן לשפר מוצר, או שרות, תוך שימוש בתכסיס "שינוי קשר בין משתנים" במערכת: לקוחות המזמינים הביתה פיצה באמצעות משלוח, מתלוננים תכופות כי הפיצה מגיעה קרה ובאיחור, בהשוואה למועד שהובטח. השאלה היא כיצד לשפר את שביעות רצון הלקוח?

הפתרון המקובל הוא, כמובן, לקצר את משך המשלוח, אך לרוב זהו פתרון יקר. על-פי שיטת SIT, אנו מנסים לפתור את הבעיה בהתבסס על המרכיבים הקיימים במערכת או הוספה מזערית של מרכיבים נוספים. בכדי ליישם את תפיסת "שינוי הקשר בין משתנים", אנו מכינים, תחילה, רשימה של כל המשתנים הנוטלים חלק בעולם הבעיה. למשל: סוג הפיצה, גודל, צורה, זמן משלוח וטמפרטורה. בנוסף, מכינים רשימת משתנים הקשורים ללקוח. למשל: אזור מגורים, מרחק הבית מהפיצרייה, גיל הלקוח וזמן ההזמנה.

בצעד הבא אנו מנסים לאחד, להחסיר, או לשנות, את הקשר בין המשתנים. ניתן, למשל, לקשור את המשתנה "מחיר" למשתנה "זמן משלוח" כמתואר באיור מס' 1.



איור מס' 1: יצירת קשר בין מחיר הפיצה לזמן המשלוח

גולדנברג ומזורסקי (Goldenberg & Mazursky, 2002) כינו את השיטה המתוארת באיור מס' 1 כשינוי של "תלות התכונות" והראו פתרון נוסף של קשירת מחיר הפיצה עם הטמפרטורה.

במקורות הספרותיים אנו מוצאים דוגמאות נוספות של הוראת SIT למשל למהנדסים (Barak & Goffer, 2002) ולתלמידי חטיבת ביניים (Barak & Mesika, 2007). בויד וגולדנברג (Boyd & Goldenberg, 2014) משתמשים במונח חשיבה "בתוך הקופסה" כגישה חלופית לחשיבה המצאתית. מחקרים נוספים של שיטת SIT הוצגו על-ידי:

Reich et al. (2012), Turner (2009), Moon, et al. (2012).

הכוונה עצמית בלמידה

בשנים האחרונות, אנשי חינוך נוכחו לדעת כי ההיבט הקוגניטיבי בלמידה ובפתרון קשור במידה רבה להיבט המטא-קוגניטיבי, לפיו ללומד יש מודעות עצמית לתהליך החשיבה שלו. במוקד המחקר הנוכחי נמצאת התפיסה של הכוונה עצמית בלמידה (SRL) המאחדת יחדיו את הקוגניציה, מטא-קוגניציה ואת ההיבט המוטיבציוני של למידה ופתרון בעיות (Barak, 2010; Zimmerman and Schunk, 1989)

קיים ידע נרחב בכל הקשור למטא-קוגניציה בלמידה בקרב ילדים בעוד שקיימים מחקרים בודדים העוסקים במטא-קוגניציה בקרב מהנדסים מומחים בתעשייה, בהקשר של איתור תקלות ותהליכי פתרון בעיות.

מקור המונח "הכוונה עצמית בלמידה" הוא בתאוריה של בנדורה (Bandura, 1986) העוסקת במיקוד הלומד בתצפית עצמית, בשיפוט עצמי ובתגובה. התאוריה מדגישה את אחריות הלומד לתהליך הלמידה (Schraw et al., 2006) להכרה ולשימוש של מיומנויות חשיבה אסטרטגית ומוטיבציה להצלחה (Pintrich & DeGroot, 1990). במחקר הנוכחי, אנו בוחנים תהליכי איתור תקלות ופתרון בעיות בקרב מומחים בתעשייה, בהתמקדות בהיבטים הבאים:

- **קוגניציה** – תבניות חשיבה של מומחים בתעשייה. זיהוי סגנונות חשיבה שאינה תהליכית כגון: היוריסטיקה, אנלוגיה, ואינטואיציה לגבי בעיות מקצועיות בתעשייה.
- **מטא-קוגניציה** – כיצד מומחים בתעשייה בונים אסטרטגיית חשיבה לאיתור תקלות ולפתרון בעיות.
- **מסוגלות עצמית** – התפיסה של בטחון עצמי ותחושה של יכולת הצלחה בביצוע מטלה.

שלב 1: מחקר חלוץ

מחקר החלוץ נועד לזהות כיצד מומחים בתעשייה, כגון מהנדסים וטכנאים מתמודדים עם איתור תקלות ופתרון בעיות במקום העבודה, בדגש על היבטים של קוגניציה, מטא-קוגניציה ושימוש בסוגי ידע שונים: ידע הצהרתי, ידע הליכי, ידע מושגי וידע איכותי (DPCQ) בפתרון בעיות.

שיטת איסוף הנתונים

מחקר החלוץ בוצע במפעל לייצור חטיפי מזון. במסגרת המחקר נבדק תהליך איתור התקלות והשיפורים שבוצעו בקווי הייצור. במסגרת זו התקיימה גם סדנא בת 30 שעות להוראת חשיבה המצאתית-שיטתית (SIT) וטיפוח הכוונה עצמית בלמידה (SRL). שאלונים (Pre-Post) מולאו על-ידי המשתתפים בסדנא. בנוסף, תועדו תהליכים של איתור תקלות ופתרון בעיות, שנערכו על-ידי עובדי קו הייצור, אנשי אחזקה ומהנדסי המפעל. כמו כן נבחנו הוראות עבודה ותרשימים לפני ואחרי יישום שינויים.

מעקב צמוד אחר ביצוע מחקר החלוץ והממצאים שנאספו במהלכו, הובילו לביצוע ההתאמות הנדרשות למבנה הסדנא שהועברה למשתתפים בשלב המחקר העיקרי ולעיצוב סופי של השאלונים.

שלב 2: המחקר העיקרי

המחקר העיקרי מתרכז בפיתוח, יישום והערכה של סדנא בת 30 שעות הנשענת על שני נושאים:

- חשיבה המצאתית-שיטתית (SIT) – שיטות לפתרון בעיות.
- הכוונה עצמית בלמידה (SRL) – קוגניציה, מטא-קוגניציה ומסוגלות עצמית בפתרון בעיות.

הגרסה המעודכנת של הסדנא נבנתה מחמישה מפגשים של שש שעות (סה"כ 30 שעות) שכללו הרצאות, דיונים, משחקים ופתרון מטלות להן נדרשו אסטרטגיות חשיבה שונות וכישורים שונים כגון: ראייה מרחבית, חשיבה לוגית, גישת אינדוקציה/דדוקציה ועוד. הסדנא בוצעה בחמישה מחזורים בקבוצות של 20-25 משתתפים, מהנדסים מומחים בתעשייה (סה"כ 110 משתתפים). המשתתפים פעלו בקבוצות עבודה קטנות לפתרון 50 מטלות חשיבה של גדולי המומחים בתחום, כגון: דודני (Dudeney, 1965) וגרדנר (Gardner, 1987), אך החלק העיקרי היה ניתוח מעשי של בעיות הנדסיות מקוריות שהמשתתפים הציגו מניסיונם מתחומי התעסוקה שלהם. לאחר פתרון מטלה, בוצע ניתוח של תהליך הפתרון. התייחסו לנקודות כגון: התפקיד שכל משתתף מילא בתהליך, תבניות החשיבה, השיטות לפתרון הבעיה ויישום תכסיסי חשיבה המצאתית-שיטתית. הדיון נערך בקבוצת הפתרון ובהמשך, על-ידי הכתה כולה לאחר שהקבוצה הציגה את פעילותה. המשתתפים נדרשו לבצע סיכום רפלקטיבי-אישי של השתתפותם במטלה, עם שאלות כגון: כיצד חשתי בתהליך? איך היו ביצועיי בקבוצה? מה למדתי על עצמי כפותר בעיות? מה למדתי על עצמי כמשתתף בקבוצה לפתרון בעיה? ועוד. התהליך המתואר לעיל, בוצע 4-5 פעמים בכל מחזור והיה החלק המרכזי במחקר הנוכחי.

שיטת איסוף הנתונים

נתונים נאספו בדרכים הבאות:

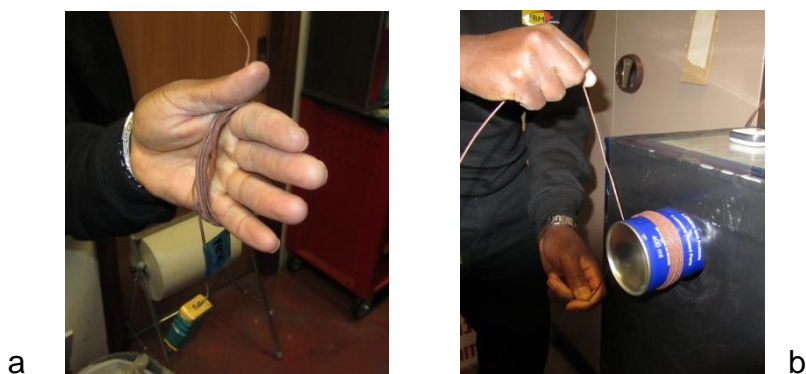
- תצפיות אחר פעילות חלק מהמשתתפים במקום עבודתם.
- תיעוד פעילויות התלמידים בכתה.
- ביצוע מבחנים לפני לימוד הקורס ולאחריו (Pre / Post) לזיהוי בעיות ולהצעת פתרונות לפתירתן.
- ראיונות עם חלק מהמשתתפים במהלך ביצוע הסדנא.
- ראיונות עם חלק מהמשתתפים, כשלושה חודשים לאחר ההשתתפות בסדנא.
- ניתוח מסמכים (הוראות עבודה ותרשימי פריסת קווי-ייצור) שהוצגו כשלושה חודשים לאחר ההשתתפות בסדנא.

כפי שכבר צוין, הגרעין של חשיבה המצאתית-שיטתית מתבסס על פתרון בעיה, או פיתוח מוצר חדש, באמצעות שימוש באחד, או יותר, של תכסיסי חשיבה: איחוד, הכפלה, חלוקה, שינוי קשר בין משתנים, החסרה והיפוך (ששה אלה נלמדו בסדנא אך ישנם כארבעים תכסיסי חשיבה שונים). בנוסף נלמדו בסדנא שיטות שונות לניתוח נתונים ואסטרטגיות חשיבה לפתרון בעיות. במהלך הסדנא המשתתפים ניתחו דוגמאות שונות בין אם כאלה שהוצגו על-ידי המנחה ובין אם כאלה

שהוצגו על-ידי המשתתפים. לדוגמא: אחד המשתתפים הציג דיאגרמת סיבה-תוצאה (דיאגרמת עצם (Yazdani & Tavakkoli-Moghaddam, 2012) לזיהוי סיבות אפשריות לשינויי בעובי חלקי תעופה העשויים מיריעות בד של חומרים מרוכבים (סיבי פחם ודבק אפוקסי). באמצעות ניתוח הסיבות האפשריות השונות, אותרו גורמי השורש לבעיה וגובש פתרון הולם לבעיה. דוגמא נוספת: בפעולת נעילה של התקן מכני נדרש חיווי (אינדיקציה) לכך שהנעילה בוצעה כהלכה. באמצעות שיטת האיחוד גובש פתרון בו מפסק חשמלי זעיר חובר לפין הנעילה, בקצה המהלך שלו. נעילה תקינה הפעילה חיווי של אות חשמלי.

מניעת סטייה במדידת טמפרטורה

בקו ייצור חלקי תעופה מחומרים מרוכבים, מדידת הטמפרטורה של החלק בעת תהליך העיצוב הסופי בתנור, נעשית באמצעות התקן חשמלי הנקרא צמד-טרמי. התקן זה מורכב משני מוליכים, באורך זהה, מחומרים שונים, המחוברים יחד בקצה אחד, המחובר לגוף הנבדק ומדידת הטמפרטורה נעשית באופן השוואתי על-ידי מדידת הפרש המתח החשמלי בקצוות החופשיים של המוליכים. מומחה לאיכות שהתארח במפעל וערך סיור בקו הבחין בסיום התהליך, בעובד המקפל צמד-טרמי על כף ידו, כמתואר באיור 2a. המומחה העיר כי קיפול זה יוצר מיקרו-סדקים המשנים את ההתנגדות הפנימית של המוליך ועלולים ליצור סטייה בקריאת הפרש המתח החשמלי בקצוות המוליכים. לבעיה נמצא פתרון מידי – גלגול המוליך על מיכל ריק של תרסיס, כמתואר באיור 2b. הגלגול אינו "שובר" את המוליך ושומר על שלמותו.



איור מס' 2: ליפוף מוליך חשמלי סביב כף היד (a) וליפוף סביב מיכל תרסיס ריק (b).

באיתור התקלה ופתרונה, המומחה השתמש בידע מושגי לגבי מעגל חשמלי ומדידת טמפרטורה באמצעות צמד טרמי וכן בידע איכותי לגבי תקלות שכיחות בצידוד מדידה. בדוגמה זו, המומחה זיהה מה יכול לפגוע במהימנות המדידה והציע פתרון פשוט בשימוש בפריט הנמצא בסביבה ללא שימוש במקורות חיצוניים. זה אחד המאפיינים של חשיבה המצאתית-שיטתית הנלמדת במסגרת מחקר זה.

חידת המסמרים

דוגמא לבעיה שהוצגה למשתתפי הסדנא לקראת סיום הלימודים. באיור מס' 3 מתואר מסמר התקוע בעץ, באופן ניצב לשולחן. יש להציב בראש המסמר האנכי את כל עשרת המסמרים הנוספים המונחים על השולחן, ללא כל תמיכה נוספת. איור מס' 4 מתאר את שלב הביניים של הפתרון ואיור מס' 5 מתאר את הפתרון.



איור מס' 3: בעיית המסמרים – מצב התחלתי.



איור מס' 4: בעיית המסמרים – מצב ביניים לקראת פתרון.



איור מס' 5: בעיית המסמרים – פתרון.

המשתתפים עסקו בפתרון הבעיה בקבוצות קטנות. מתוך כ-20 קבוצות רק שלוש קבוצות פתרו את הבעיות תוך שעה אחת, הזמן שהוקצב לכך. המידע לגבי אופן התמודדות המשתתפים עם פתרון הבעיה נאסף באמצעות שימוש בשיטת "חשיבה בקול רם", בה נדרשו המשתתפים לספר את מחשבותיהם, שיקוליהם והחלטותיהם במהלך הפתרון.

להלן מספר ציטוטים של תיעוד תהליך הפתרון על ידי אחד הפותרים, מהנדס מכונות בעל ניסיון מוכח בפתרון בעיות ובפיתוח אמצעים חדשניים המערבים חשיבה המצאתית, במקום עבודתו:

- "הפתרון חייב לפעול על-פי חוקי הפיסיקה".
- "זה קשור לשיווי משקל...משולב בסימטריה".
- "חייב להיות מבנה האוחז במסמרים".
- "מבנה תמיד כולל שלד ויסודות תומכים".
- "תחילה אצור מבנה ואז אראה כיצד לחבר אליו את המסמרים".
- "אשתמש בשני מסמרים כשלד ואחלק את שאר המסמרים (ארבעה וארבעה) באופן סימטרי משני הצדדים".
- "זה חייב להיות מבוסס על כוחות פעולה ותגובה...שהמסמרים ילחצו אחד כנגד השני".
- "הנה, כך המסמרים מורכבים ונלחצים אחד כנגד השני".

בנוסף לפירוט דרכי החשיבה, משתתף זה גם סיפק פרטים לגבי חשיבה מטא-קוגניטיבית:

- "ביצתי הרבה ניסיונות וחשתי שהפתרון חומק בין אצבעותיי."
- "לא היה פתרון מראש... בניתי זאת צעד אחר צעד."
- "היה לי אוסף נכבד של רעיונות...חלקם מנוגדים לחוקי הטבע."
- "אני חייב לנקוט בגישה לוגית – כיצד ליצור שיווי משקל?"

חידת המסמרים מדגימה כיצד צרוף של ידע מושגי בתחומי הפיסיקה והמכניקה וידע מטא-קוגניטיבי לגבי פתרון בעיות, משחקים תפקיד מרכזי בתהליך פתרון הבעיה. שיטת SIT רלוונטית אף היא משום שהיא מכוונת את הפותר להשתמש במקורות הקיימים באופן טבעי במערכת, גם אם באופן שונה. בחידת המסמרים מנצלים את כח הכובד פועל על המסמרים ליצירת כח הלחיצה ביניהם.

ממצאים מתוך מבחן זיהוי הבעיות והגדרת פתרונות

מבחן זה אמור לזהות את יכולות הפותר לזהות את הבעיה בשימוש בפריט הציוד נתון. מדובר בפריטים שכיחים שניתן למצוא בבית ובבית המלאכה. הפותר מתבקש להציע פתרונות לבעיה. לדוגמא, בשימוש במיחם, המתואר באיור מס' 6, קיימים סיכונים כגון: כווייה מגוף חם, או ממים חמים, מכת חשמל וניצוץ חשמלי שעלול ליצור דליקה.



איור מס' 6: מיחם – דוגמא לפריט מתוך מבחן זיהוי בעיות והגדרת פתרונות.

הפריטים במבחן שייכים לקטגוריות הבאות: ציוד חימום, ציוד סובב, חומרים מסוכנים, צבע בהתזה, ציוד חיתוך חשמלי, מאגרי מים, ישיבה, תחבורה, תאורה וקרינה. לגבי כל פריט הוצגו שתי שאלות:

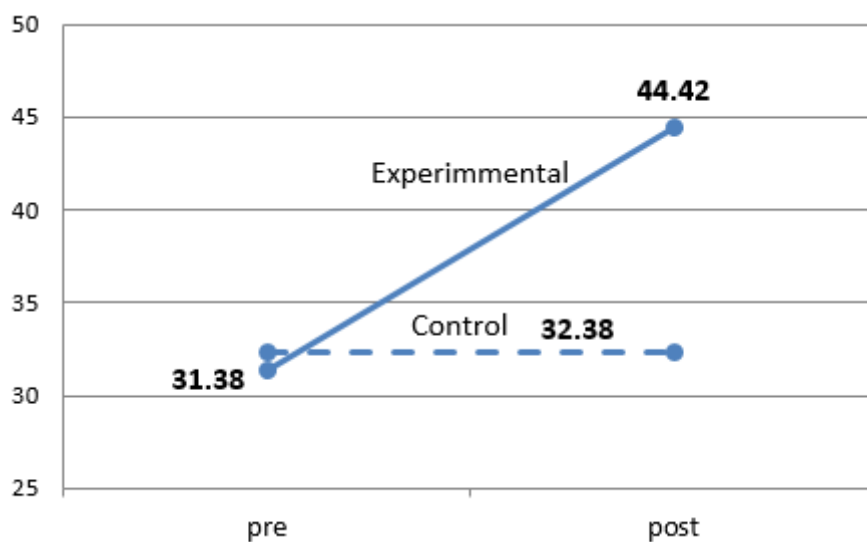
- ציין את הבעיות הכרוכות בתפעול הפריט. מנה בעיות רבות ככל שאפשר לזהות.
- הצע פתרונות, רבים ככל האפשר, לכל אחת מהבעיות שצינת. תשובות המשתתפים נותחו בשני היבטים:
- מספר בעיות שזוהו עבור כל פריט.
- מספר תשובות יצירתיות, מספר תשובות שגרתיות ומספר תשובות לא רלוונטיות שהוצעו לכל בעיה. שיטה זו פותחה במחקר קודם בו נלמדה שיטת SIT על-ידי ילדים (Barak & Mesika, 2007).

המבחן הוכן בשתי גרסאות שכל אחת הכילה 20 פריטים. שתי המהדורות שימשו הן למבחן מקדים (Pre) והן למבחן מסכם (Post). מחצית מהמשתתפים ענו לגרסה הראשונה לפני הקורס ועל הגרסה השנייה בסיום הקורס. בהעדר הבדלים משמעותיים בממוצעים של כל הקבוצות באפשרויות השונות, ניתן לראות בשתי הגרסאות של המבחן כגרסאות זהות.

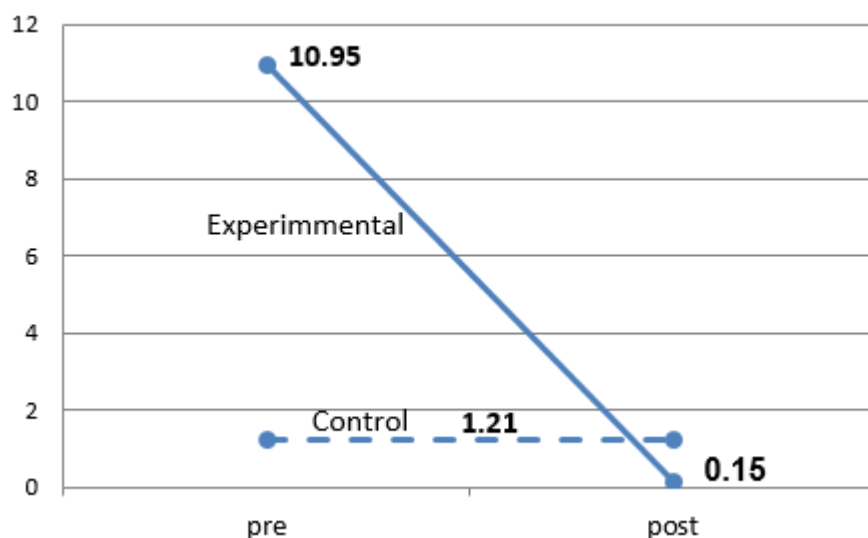
במגבלות אורך המאמר הנוכחי נציג בטבלה מס' 1 ובאיורים מס' 7-9, ממצאים מרכזיים משתי הגרסאות של המבחן.

טבלה מס' 1: מספר בעיות, פתרונות לא-רלוונטיים ופתרונות יצירתיים שהוצעו על-ידי המשתתפים במבחן (בעיה-פתרון)

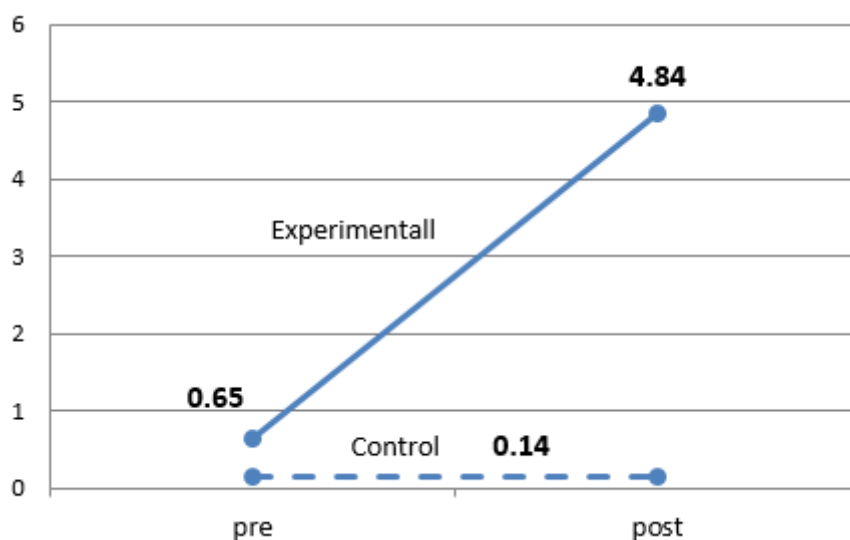
		קבוצת ניסוי (N=87)				קבוצת ביקורת (N=24)	
		קדם (Pre)		סיום (Post)		ממוצע	סטיית תקן
		ממוצע	סטיית תקן	ממוצע	סטיית תקן	ממוצע	סטיית תקן
TP	מספר הבעיות שהוגדרו	31.38	18.52	44.42	24.56	32.38	17.54
TC	מספר הפתרונות הלא-רלוונטיים שהוצעו	10.95	8.76	0.15	0.45	1.21	2.54
TI	מספר הפתרונות היצירתיים שהוצעו	0.65	1.23	4.84	4.83	0.14	0.44



איור מס' 7: מספר בעיות (TP) שהוצעו על ידי קבוצת הניסוי וקבוצת הביקורת.



איור מס' 8: מספר הפתרונות הלא-רלוונטיים (TC) שהוצעו על ידי קבוצת הניסוי וקבוצת הביקורת.



איור מס' 9: מספר הפתרונות היצירתיים (TI) שהוצעו על ידי קבוצת הניסוי וקבוצת הביקורת. בכדי לבחון באם ביצועי המשתתפים במבחן בעיה-פתרון הושפעו על-ידי מועד המבחן, בוצע ניתוח MANOVA חד-כיווני, על הנתונים הגולמיים שהוצגו בטבלה מס' 1 לעיל. הממצאים $[F(df=3)=201.198, p<0.000]$ מצביעים על השפעה משמעותית. הואיל וניתוח MANOVA חד-כיווני הוא מבחן סטטיסטי כוללני, שאינו מצביע על המשתנה השונה באופן מהותי מהמשתנים האחרים, ניתן להוסיף מבחן t המתייחס להבדל בין התוצאות במבחן הקדם ומבחן הסיום לכל משתנה בנפרד. ממצאי מבחן t עבור כל אחד מהמשתנים שהוצגו באיורים מס' 7-9 הם:

- TP – ממוצע מספר הבעיות שהוגדרו על ידי משתתפי קבוצת המחקר, עלה באופן משמעותי מ-31.38 ל-44.42 $[t(df=164)=3.875, p<0.040]$.
- TC – ממוצע מספר הפתרונות הלא-רלוונטיים שהוצעו על-ידי משתתפי קבוצת המחקר, ירד באופן משמעותי מ-10.95 ל-0.15 $[t(df=164) = 11.080, p<0.000]$.

- TI – ממוצע מספר הפתרונות היצירתיים שהוצעו על ידי משתתפי קבוצת המחקר, עלה באופן משמעותי מ-0.65 ל-4.84 [t(df=164)=7.75, p<0.000].

לסיכום, הממצאים שהוצגו לעיל מראים כי אחרי ההשתתפות בקורס משתתפי קבוצת המחקר שיפרו את הישגיהם במבחן המסכם, בכל שלושת הפרמטרים שנמדדו ובהשוואה לקבוצת הביקורת. בוגרי הקורס זיהו יותר בעיות, הציעו מספר גדול יותר של פתרונות יצירתיים ומספר קטן יותר של פתרונות לא-רלוונטיים.

בחינה חוזרת של השפעת הסדנא על ביצועי המשתתפים, במקומות עבודתם, שלושה חודשים לאחר סיום הסדנא.

כשלושה חודשים לאחר סיום כל אחד מהמחזורים של הסדנא לחשיבה המצאתית-שיטתית, פנינו באקראי למספר משתתפים בכל כיתה (סה"כ N=20) כדי לראיין באופן אישי את המשתתפים במקומות עבודתם, במטרה ללמוד עד כמה וכיצד השתתפותם בסדנא השפיעה על עבודתם. בסופו של דבר נאסף מידע משבעה משתתפים: ארבעה בראיון אישי (מתועד) ושלושה בהתכתבות.

הראיונות התקיימו כשיחה חופשית, כשילוב של "ראיון עומק", המאפשר למרואיין לספר סיפור מנקודת מבטו ו"ראיון מאזכר", המחיה נתונים של תצפיות, או מנתח מסמכים, או חפצים.

הנושאים שעלו בראיונות ובהתכתבויות חולקו לקטגוריות עיקריות ונבדקה השכיחות של כל קטגוריה בקרב המרואיינים. הממצאים רוכזו בטבלה מס' 2.

טבלה מס' 2: קטגוריות עיקריות מהנושאים שהועלו כמשוב על-ידי המשתתפים בראיונות האישיים ובהתכתבות, כשלושה חודשים אחרי השתתפותם בסדנא לחשיבה המצאתית-שיטתית (SIT) והכוונה עצמית בלמידה (SRL).

שכיחות	קטגוריה
7	גאווה בשינוי העצמי
7	רכישת ידע לגבי מושגים ורעיונות
7	בחינת בעיות מכיוונים שונים
7	שימוש בתכסיסי חשיבה
6	בטחון עצמי ביכולת האישית
6	שינוי דרכי חשיבה
5	רצון להשפיע במקום העבודה
3	רצון להעמיק בלימוד

טבלה מס' 2 מראה כי המשתתפים ציינו השפעות משמעותיות של הסדנא על כישוריהם ועל ביטחונם העצמי, ביכולתם להתמודד עם פתרון בעיות וחשיבה המצאתית בתפקידם, במקום עבודתם.

דיון ומסקנות

המחקר הנוכחי מצביע על שני היבטים ייחודיים של טיפוח פתרון בעיות וחשיבה המצאתית בקרב מהנדסים מומחים: הראשון, "חשיבה המצאתית-שיטתית" (SIT) כאוסף שיטות וטכניקות לפתרון בעיות, והשני, הוראת "הכוונה עצמית בלמידה" (SRL) המורכב מקוגניציה, מטא-קוגניציה ותחושה של מסוגלות עצמית.

תוצאות מאתגרות הושגו בסדנאות שנערכו לחמש קבוצות של מהנדסים מומחים. המשתתפים שיפרו באופן משמעותי את כישוריהם בזיהוי בעיות במערכות נתונות והציעו יותר פתרונות יצירתיים ופחות פתרונות לא-רלוונטיים לבעיות אלה. המשתתפים דיווחו שחל שינוי באופן חשיבתם והיום חשיבתם היא יותר שיטתית ובוחנת לעומק אפשרויות שונות. המשתתפים הצביעו

על שיפור ביעילותם בחיפוש אחר פתרונות הולמים לבעיות, תוך מיצוי שיטות חשיבה שונות ומבט מקיף על הבעיה מהיבטים שונים.

ממצאי המחקר הנוכחי מאששים ממצאי מחקרים קודמים שבחנו את יעילותה של הוראת "חשיבה המצאתית-שיטתית" (SIT) למהנדסים (Barak & Goffer, 2002; Barak, 2004), למורים למדעים ולטכנולוגיה (Barak, 2006) ולתלמידי בית-ספר (Barak & Mesika, 2007). המחקר הנוכחי מקדם רעיון זה צעד נוסף בעצם השילוב של "הכוונה עצמית בהוראה" (SRL) ובמיוחד מטא-קוגניציה, בקורס לפתרון בעיות.

סדנת ההדרכה שפותחה ונבחנה במחקר זה, יכולה לשמש כמודל של תכניות לפיתוח מקצועי לא רק למהנדסים מומחים, אלא גם לתלמידי בתי הספר ולמורים.

גרסה קודמת של מאמר זה פורסמה בכתב העת *Australasian Journal of Technology Education* כמפורט להלן

Barak, M. & Albert, D. (2017). Fostering Systematic Inventive Thinking (SIT) and Self-Regulated Learning (SRL) in Problem-Solving and Troubleshooting Processes among Engineering Experts in Industry, *Australasian Journal of Technology Education*, 4 (1-14). <http://ajte.org/index.php/AJTE/article/view/45>

מקורות

- Altshuller, G. S. (1988). Creativity as an exact science. *New York, NY: Gordon and Breach*. doi:10.1590/S1806-11172005000200004.
- Bandura, A. (1986). *Social foundation of thought and action*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Barak, M. & Goffer, N. (2002). Fostering systematic innovative thinking and problem solving: lessons education can learn from industry. *International Journal of Technology and Design Education*, 12(3), 227-247. doi:10.1023/A:1020259623483
- Barak, M. (2004). Systematic approaches for inventive thinking and problem solving: Implications for engineering education. *International Journal of Engineering Education*, 20(4), 612-618.
- Barak, M. (2006). Teaching methods for systematic inventive problem solving: Evaluation of a course for teachers. *Research in Science and Technological Education*, 24(2), 237–254
- Barak, M. & Mesika, P. (2007). Teaching methods for inventive problem-solving in junior high school. *Thinking Skills and Creativity*, 2(1), 19-29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsc.2006.10.002>
- Barak, M. (2010). Motivating self-regulated learning in technology education. *International Journal of Technology and Design Education*, 20(4), 381-401. doi:10.1007/s10798-009-9092-x
- Boyd, D., & Goldenberg, J. (2014). *Inside the Box: A Proven System of Creativity for Breakthrough Results*. New York, NY: Simon & Schuster. <http://dx.doi.org/10.7469/JKSQM.2015.43.1.001>

- De Bono, E. (1992). *The Use of Lateral Thinking*. London, UK: Penguin. doi:10.1007/s10551-007-9422-4.
- Dudeney, H. E. (1995). *536 Curious Problems and Puzzles*. New York: Barnes & Noble Books.
- Gardner, M. (1987). *The 2nd Scientific American Book of Mathematical Puzzles*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- Goldenberg, J. & Mazursky, D. (2002). *Creativity in Product Innovation*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511674464>
- Horowitz, R. (2001). *ASIT's Five Thinking Tools with Examples*. TRIZ Journal, September.
- Moon, S., Ha, C., & Yang, J. (2012). Structured idea creation for improving the value of construction design. *Journal of Construction Engineering & Management*, 138(7), 841-853. Doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000491#sthash.NGjtyCXP.dpuf
- Osborn, A.F. (1963). *Applied Imagination: Principles and Procedures of Creative Problem Solving (Third Revised Edition)*. New York, NY: Charles Scribner's Sons
- Pintrich, R. R. & DeGroot, E. F. (1990). Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance. *Journal of Educational Psychology*, 82, 33-40. Doi: 10.1037//0022-0663.82.1.33
- Reich, Y., Hatchuel, A., Shai, O., & Subrahmanian, E. (2012). A theoretical analysis of creativity methods in engineering design: casting and improving ASIT within C-K theory. *Journal of Engineering Design*, 23(2), 137-158. doi:10.1080/09544828.2010.493505
- Runco, M. A. (2015). Meta-creativity: Being creative about creativity. *Creativity Research Journal*, 27(3), 295-298. doi:10.1080/10400419.2015.1065134
- Schraw, G. & Crippen, K. J., & Hartley, K. (2006). Promoting self-regulation in science education: metacognition as part of a broader perspective on learning. *Research in Science Education*, 36, 111-139. doi:10.1007/s11165-005-3917-8
- Turner, S. (2009). ASIT – a problem solving strategy for education and eco-friendly sustainable design. *International Journal of Technology and Design Education*, 19(2), 221-235. doi:10.1007/s10798-008-9080-6.
- Van de Kamp, M., Admiraal, W., van Drie, J., & Rijlaarsdam, G. (2015). Enhancing divergent thinking in visual arts education: Effects of explicit instruction of meta-cognition. *British Journal of Educational Psychology*, 85(1), 47-58. doi:10.1111/bjep.12061
- Yazdani, A. & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2012). Integration of the fish bone diagram, brainstorming, and AHP method for problem solving and decision making-a case study. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 63(5-8), 651-657. Do:10.1007/s00170-012-3916-7
- Zimmerman, B. J. & Schunk, D. H. (1989). *Self-regulated Learning and Academic Achievement: Theory Research, and Practice*. New York, NY: Springer. doi:10.1007/978-1-4612-3618-4

השקפות תלמידים על שימוש ב-Jmol ועל התבוננות במודלים מולקולריים במסגרת למידה אודות חלבונים

אוהד לבקוביץ, פרופ' ענת ירון
המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע

תקציר

לימודי הביואינפורמטיקה, המתקיימים במסגרת מגמת ביוטכנולוגיה, רותמים תלמידים למענה על משימות מבוססות מחשב בסביבת הלמידה "ביואינפורמטיקה בשירות הביוטכנולוגיה". במסגרת מענה על המשימות תלמידים משתמשים בכלים ביואינפורמטיים אותנטיים המשמשים מדענים ורוכשים ידע מדעי תוכני, פרוצדורלי ואפיסטמי. המחקר מתמקד בהשקפות תלמידים כלפי השימוש באפשרויות של אחד מהכלים הביואינפורמטיים – תוכנת Jmol, וכלפי ההתבוננות במודלים המולקולריים המוצגים כתוצאה משימוש באפשרויות אלו. במסגרת המחקר נערכה הבחנה תיאורטית בין שתי פרוצדורות של ידע – שימוש באפשרויות התוכנה של Jmol והתבוננות במודלים המולקולריים המתקבלים כתוצאה מהשימוש באפשרויות אלו. מתוך ניתוח תשובות תלמידים (N=160) לשאלון, זוהו השקפותיהם על עניין, רכישת ידע והאתגר בעיסוק בכל אחת מהפרוצדורות. ממצאי המחקר הראו כי פרוצדורת השימוש ב-Jmol מקדמת עניין אך נתפסת בעיני התלמידים כמורכבת. לעומת זאת פרוצדורת ההתבוננות במודלים מולקולריים תומכת ברכישת ידע אודות חלבונים אך לא מקדמת עניין בהשוואה לשימוש ב-Jmol. על אף שישנן עדויות בספרות על שימוש בתוכנות כגורם המקדם הבנה מושגית, במחקר זה תלמידים מדווחים על פרוצדורת ההתבוננות במודל כמקור העיקרי ללמידה אודות חלבונים בהשוואה לשימוש בתוכנה, וכן על כך שפרוצדורת השימוש ב-Jmol דורשת מהם משאבים קוגניטיביים ואינה תומכת בהכרח ברכישת ידע מושגי אודות חלבונים.

מבוא

תלמידי מגמת ביוטכנולוגיה לומדים ביואינפורמטיקה כחלק מדרישות החובה של תוכנית הלימודים במערכות ביוטכנולוגיות בחטיבה העליונה (משרד החינוך, 2017). ביואינפורמטיקה מוגדרת כשימוש במאגרי מידע וכלים ממוחשבים לצורך ארגון, אחסון, ניתוח והצגה של מידע ביולוגי ניסויי (NIH, 2001). התלמידים פותרים משימות מבוססות מחשב בעלות היבטים ביולוגיים-יישומיים הנמצאות בסביבת הלמידה "ביואינפורמטיקה בשירות הביוטכנולוגיה" (משרד החינוך, הענן החינוכי). המשימות עוצבו על פי המסגרת התיאורטית של Chinn ו-Malhotra (2002), כמשימות חקר מבוססות פרקטיקה מדעית אותנטית, זאת במטרה לגשר על פער בין מדע אותנטי לבין הוראה ולמידת מדע בבית הספר (Machluf, Gelbart, Ben-Dor, & Yarden, 2017).

אנו טוענים כי למידת ביואינפורמטיקה בהקשרים אותנטיים מייצרת הזדמנויות לרכישת ידע מדעי. ידע זה הוא בסיס לפעולה האנושית של עשיית מדע, וכולל שלושה תת-מרכיבי ידע: ידע תוכני, פרוצדורלי ואפיסטמי (Kind & Osborne, 2017). ידע תוכני עוסק בתופעות טבעיות ("מהן תופעות בטבע?"), ידע פרוצדורלי עוסק במגוון הדרכים שבהן המדע פועל ("איך פועל המדע?") וידע אפיסטמי עוסק בערכים המניעים את המדע ("מדוע המדע פועל כפי שהוא פועל?"). מסגרת תיאורטית זו נמצאת בהלימה למסמכי סטנדרטים הרואים בפרקטיקה המדעית האותנטית את המסגרת ללמידה ולהערכה בארצות הברית (NRC, 2012) ובמדינות נוספות ביניהן ישראל (OECD, 2016).

המחקר מתמקד בהשקפות תלמידים על למידה באמצעות הכלי הביואינפורמטי Jmol - תוכנת קוד פתוח מבוססת ג'אווה (Jmol.sourceforge.org). שימוש יעיל ב-Jmol דורש, בראש ובראשונה, שימוש מושכל באפשרויות התוכנה. פועל יוצא של שימוש יעיל באפשרויות התוכנה הוא תצוגה חזותית של מולקולות באמצעות מודלים מולקולריים שהמבנה שלהם נקבע בשיטות ניסוייות. הנתונים אודות המבנים, שרבים מהם הם חלבונים, מקובצים במאגר מידע ייעודי. אלה נשלפים ומוצגים כייצוגים חזותיים באמצעות Jmol (Herraez, 2006).

ניתוח שאלות במשימות שבהם משתמשים תלמידים ב-Jmol, על פי תת-מרכיבי הידע שתוארו במבוא, חושף הבחנה תיאורטית בין שתי פרוצדורות המשולבות עם ידע תוכן אודות חלבונים: ידע פרוצדורלי אודות השימוש באפשרויות התוכנה (יקרא להלן השימוש ב-Jmol) וידע פרוצדורלי אודות הייצוגים החזותיים והמודל (יקרא להלן ההתבוננות במודל).

כאמור, הפרוצדורה הראשונה היא ידע הקשור לשימוש באפשרויות תוכנת Jmol. התלמידים נדרשים לשלוט במודל המולקולרי באמצעות העכבר, לשנות את התצוגה המבנית שלו, להדגיש או להסתיר ייצוגים חזותיים נבחרים במודל וכן נדרשים לדעת כיצד להציג מידע על גבי הייצוגים במודל. השימוש המועיל באפשרויות Jmol דורש בעיקר הפגנת שליטה בסרגלי תפריטים, וכן ניסוח וכתובה של פקודות בלוח בקרה (משרד החינוך, 2017).

הפרוצדורה השנייה היא ידע הקשור להתבוננות במודל. התבוננות במודל המולקולרי ובייצוגים החזותיים המופיעים בו דורשת מהתלמיד לקודד את המידע החזותי בייצוגים, לפענח אותם, להבין את האינטראקציות ביניהן וכן להעריך את מגבלותיהם וחזקותיהם (Schönborn & Anderson, 2009), כל זאת בהקשר של רכישת ידע מושגי אודות מבנה ותפקוד חלבון.

שאלות המחקר

במחקר זה נבחנו השאלות הבאות:

- 1) כיצד נתפסים בקרב תלמידים הכלים הביואינפורמטיים שבהם הם מתנסים?
- 2) אילו פרוצדורות תורמות ללמידה לדעתם של תלמידים?
- 3) מהן השקפות התלמידים על האתגר בלמידה באמצעות שימוש ב-Jmol ועל ההתבוננות במודלים המולקולריים?

מתודולוגית המחקר

אוכלוסיית מחקר: הנתונים נאספו מתוך שאלון שנענה על ידי מדגם נח של 160 תלמידים הלומדים בכיתה י"ב (110 בנות ו-50 בנים) משלושים וחמישה בתי ספר. הנתונים נאספו בסמוך למועד בחינת הבגרות בביואינפורמטיקה שנערכה בסיום שנת הלימודים תשע"ו.

כלי המחקר ושיטת הניתוח: לתלמידים הועבר שאלון ממוחשב ואנונימי בתיווך מוריהם. השאלון נחלק לשלושה חלקים, שכל אחד מהם מיועד למענה על שאלת מחקר אחת מאלה שצוינו למעלה.

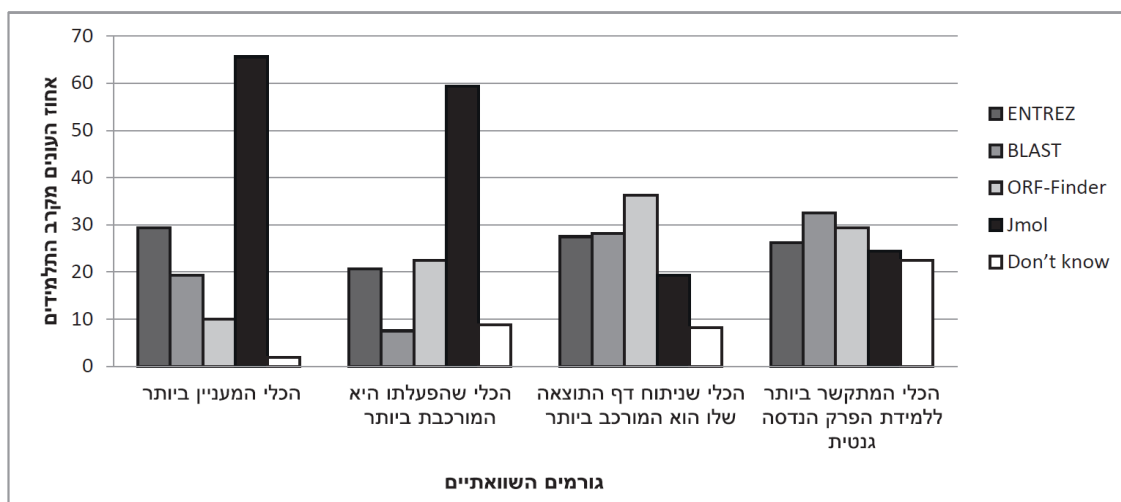
כמענה לשאלת המחקר הראשונה, התבקשו תלמידים לבחור כלי ביואינפורמטי שבשימוש בו התמחו, על פי ארבעה קריטריונים: המעניין ביותר ללמידה, הקשה ביותר להפעלה, בעל דף התוצאה המורכב ביותר לניתוח וכן הקשור ביותר לידע מתוך פרק ההנדסה הגנטית שאותו למדו בנפרד. ארבעת הכלים שבהם התמחו התלמידים הם: ENTREZ - מנוע חיפוש לרשומות הנושאות מידע ביולוגי המצוי במאגרי מידע; BLAST - מנוע חיפוש המתבסס על דמיון רצפי בין רצף שאילתה לבין רצפים ממאגר מידע; ORF-Finder - כלי המנבא מסגרת קריאה פתוחה מתוך רצפים גנטיים בעלי משמעות; וכן Jmol שמטרתו ומאפייניו תוארו בפרק הקודם. התפלגות הבחירה של התלמידים בכלים השונים עלתה על 100% מכיוון שניתנה לכל תלמיד האפשרות לבחור יותר מכלי אחד בכל קריטריון.

כמענה לשאלת המחקר השנייה, התלמידים התבקשו לענות על שתי שאלות: (1) מהו המאפיין שגרם לי להנאה רבה יותר?; ו-(2) מהו המאפיין שגרם לי להבין יותר על חלבונים? התלמידים נדרשו לבחור באחת מבין שתי הפרוצדורות כתורמת לעניין או לרכישת ידע אודות חלבונים: השימוש ב-Jmol (השימוש באפשרויות התוכנה) או ההתבוננות במודל. כמו כן, לתלמידים ניתנה האפשרות לבחור את שתי הפרוצדורות או אף אחת מהן. כדי למנוע חוסר בהירות בתיאור הפרוצדורות עבור התלמידים, ולאפשר הבחנה ביניהן, נבחר המינוח "הפעלת Jmol" עבור תיאור פרוצדורת שימוש ב-Jmol' ואילו המינוח "הצגת מבנה חלבון" נבחר עבור תיאור פרוצדורת 'התבוננות במודל'.

כמענה לשאלת המחקר השלישית, התבקשו התלמידים לבטא מידות משתנות של הסכמה עם 14 היגדים, מתוכם ארבעה הופכיים, על פי סולם מסוג ליקרט (Likert type scale) המורכב מ-4 נקודות: מ-1 (לא מסכים) ועד 4 (מסכים). לאחר המענה התבצע תהליך הגדרת הגורמים אשר כלל ניתוח גורמים (Factor analysis) ובדיקת מהימנות. קבוצות ההיגדים התקבצו במהלך הניתוח לשלושה גורמים ברמת מהימנות מקובלת, כמתואר באיור 3 בפרק הממצאים.

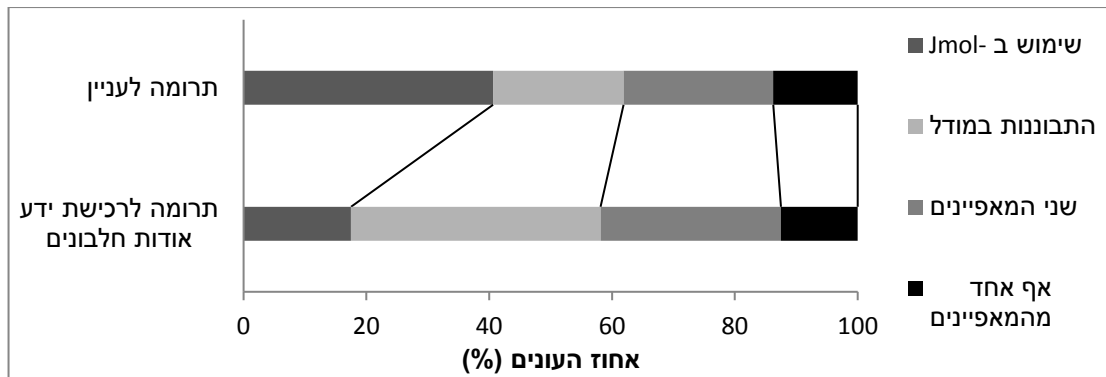
ממצאים

מניתוח תשובות התלמידים לשאלת המחקר הראשונה עולה כי מרבית התלמידים זיהו את Jmol ככלי הביואינפורמטי שסיפק להם את רמת העניין הגבוהה. יחד עם זאת, הם תפסו אותו כמורכב לשימוש בהשוואה לשלושת הכלים האחרים בהם התנסו. בנוסף, התלמידים לא ראו בניתוח הייצוגים החזותיים שהוצגו במודל המולקולרי מיומנות קוגניטיבית מורכבת בהשוואה לניתוח דפי התוצאה של הכלים הביואינפורמטיים האחרים (איור 1).



איור 1. העדפות תלמידי מגמת ביוטכנולוגיה הניגשים לבחינת בגרות בביואינפורמטיקה לכלי ביואינפורמטי אחד או יותר, בהשוואה לכלים אחרים (N=160)

מהמענה לשאלת המחקר השנייה עולה כי בהשוואת השכיחות הקיימת מול השכיחות האקראית של תשובות התלמידים בכל אחת משתי השאלות בנפרד נמצאו הבדלים מובהקים בין פרוצדורת השימוש ב-Jmol לבין פרוצדורת ההתבוננות במודל. כאשר נבדקה רמת העניין, נמצא כי תלמידים רואים באופן מובהק את השימוש ב-Jmol כגורם העיקרי בהגברת העניין שלהם בלמידה, $\chi^2=11.67$, $p<.01$. כאשר נבדקה רכישת הידע אודות חלבונים נמצא כי התלמידים רואים את ההתבוננות במודל המולקולרי כגורם העיקרי התורם להבנת נושא החלבונים $\chi^2=15.29$, $p<.005$. על כן, מתוך התוצאות עולות מגמות הפוכות של עניין והבנה בקרב התלמידים. בעוד שעניין נוצר מתוך שימוש ב-Jmol, רכישת ידע אודות חלבונים נוגעת, על פי השקפתם, להתבוננות במודלים מולקולריים (איור 2).



איור 2. התפלגות השקפות תלמידים (N=160) על השפעת השימוש ב-Jmol וההתבוננות במודל מולקולרי, על העניין בלמידה ועל רכישת הידע אודות חלבונים.

מניתוח תשובות התלמידים לשאלת המחקר השלישית עולה כי ההיגדים מתקבצים לשלוש קטגוריות במהימנות יחסית גבוהה: (א) ידע של התלמידים הקשור לאתגר בפרוצדורת השימוש ב-Jmol (Cronbach's $\alpha=0.8$); (ב) ידע של התלמידים הקשור להתבוננות במודל המשולב עם ידע אודות מבנה חלבונים (Cronbach's $\alpha=0.68$); (ג) ידע הקשור לפרוצדורת ההתבוננות במודל המשולב עם ידע אודות תפקוד חלבונים (Cronbach's $\alpha=0.8$).



איור 3. השקפות תלמידים (n=160) על (א) האתגר בשימוש ב-Jmol; על (ב) האתגר בהתבוננות במודל המשולב עם ידע אודות מבנה חלבונים; על (ג) האתגר בהתבוננות במודל המשולב עם ידע אודות תפקוד חלבונים (ג). ארבעה היגדים שליליים מסומנים בכוכבית (*).

מדיווחי התלמידים במסגרת הקטגוריה הראשונה המופיעה באיור 3(א), ניכרים קשיים בביצוע פעולות בסרגלי תפריטים, וכן קשיים בניסוח וכתובה של פקודות בלוח בקרה לצורך בחירת מרכיבים בתצוגה המבנית של החלבון והצגתם. ממצא זה עומד בהלימה לתפיסת התלמידים בנוגע לאתגר היחסי בשימוש באפשרויות Jmol בהשוואה לכלים ביואינפורמטיים אחרים. יצוין, כי קשיים אלו דווחו בנקודת זמן שבה התלמידים נדרשו לשליטה בשימוש ב-Jmol לצורך בחינת הבגרות ולאחר שקיבלו תמיכה ממוריהם בהקשר לשימוש יעיל באפשרויות Jmol. בנוסף, תמיכה בתלמיד בשימוש

יעיל ב-Jmol ניתנה גם באמצעות עזרים מתוך סביבת הלמידה, בהסברים מפורטים בגוף המשימות וכן בסרטון הדרכה מלווה.

השקפות תלמידים בדבר ידע תוכן אודות חלבונים מראות שפרוצדורת ההתבוננות במודל תורמת יותר לרכישת ידע אודות מבנה חלבונים ופחות לרכישת ידע אודות תפקוד החלבונים (איור 3 ב ו- ג3). ממצא זה התקבל על אף שאחת ממטרות הלמידה המוצהרות של תוכנית הלימודים היא הבנת הקשר בין מבנה החלבון לתפקודו (משרד החינוך, 2017) ועל אף שהמשימות עוצבו לספק תמיכה עבור רכישת ידע אודות הקשר בין המבנה לתפקוד.

דיון

ממצאי המחקר מציגים תמונה מורכבת של השקפות תלמידים על פרוצדורת השימוש ב-Jmol ועל פרוצדורת ההתבוננות במודלים מולקולריים לצורך למידה אודות חלבונים. על אף שהשימוש ב-Jmol נתפס כגורם מעורר עניין בלמידה, אחוז ניכר מהתלמידים בחר לדווח כי השימוש באפשרויות התוכנה של Jmol אינו גורם התומך ברכישת ידע אודות חלבונים. כמו כן, תלמידים דיווחו כי חלק מאפשרויות השימוש ב-Jmol מורכבות, בעיקר השימוש בסרגל תפריטים וכתובת פקודות בלוח הבקרה.

השימוש של תלמידים ב-Jmol או בכלים אחרים להצגת מודלים מולקולריים הוא מאפיין של הפרקטיקה המקובלת במדע אותנטי, ותומך ביצירת מודלים קונספטואליים במדע ובשימוש מושכל בהם. פרקטיקה זו מיושמת בחינוך המדעי בשנים האחרונות באמצעות עיצוב של סביבות למידה אשר מתמקדות בהבנת תופעות וברכישת ידע מושגי באמצעות שימוש יעיל במודלים (Kali & Linn, 2008). בחלק מהסביבות, התלמידים מעורבים בהתנסות עצמאית ביצירת מודלים ובהערכתם (Wagh, Cook-Whitt, & Wilensky, 2017). עם זאת, ממצאי המחקר שתואר כאן מעידים על כך שתלמידים אינם רואים את פרוצדורת השימוש ב-Jmol כמקדמת בהכרח רכישה של ידע מדעי אודות חלבונים (על אף שתוארה כמעוררת עניין בקרב תלמידים), וזאת בהשוואה לפרוצדורת התבוננות במודל.

המגבלה העיקרית במחקר היא שהממצאים כוללים אך ורק השקפות אשר אינן מייצגות בהכרח את תרומתן של שתי הפרוצדורות ללמידה הלכה למעשה. יש לבחון השפעה אפשרית של כל אחת מהפרוצדורות תוך כדי מענה של התלמידים על פעילויות רלוונטיות בסביבת הלמידה.

לסיכום, הממצאים תומכים בהשערה שפרוצדורת השימוש באפשרויות תוכנת Jmol עלולה לגרום לעומס קוגניטיבי המעכב רכישת ידע תוכן אודות חלבונים וכן עלולה לפגום ברכישת ידע אודות המודל והייצוגים החזותיים המופיעים בו, וזאת על אף העניין הנלווה בשימוש בתוכנה. התבוננות במודל המולקולרי עשויה לתרום לרכישת ידע אודות מבנה החלבון, אך תלמידים עלולים להיתקל בקשיים בהבנת הקשר בין מבנה ותפקוד מתוך התבוננות בייצוגים החזותיים כאשר הם משתמשים ב-Jmol. על כן, יש לבחון במחקר המשך את השפעת השימוש ב-Jmol וכן את השפעת ההתבוננות במודלים המולקולריים על למידה בהקשר של רכישת ידע אודות חלבונים.

תודות

המחברים מבקשים להביע את תודתם למורות ומורי מגמת הביוטכנולוגיה אשר הפיצו את השאלון בקרב תלמידיהם. המאמר מתבסס על עבודה שהוצגה בכנס השנים-עשר לחקר חדשנות וטכנולוגיות למידה ע"ש צ"י בפברואר 2017 בקריית האוניברסיטה הפתוחה, רעננה, ישראל.

מקורות

- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218.
- Herraez, A. (2006). Biomolecules in the computer: Jmol to the rescue. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 34(4), 255-261.

- Kali, Y., & Linn, M. C. (2008). Technology-enhanced support strategies for inquiry learning. In D. Jonassen & M. J. Spector & M. D. Driscoll & M. Merrill & J. van Merriënboer (Eds.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (pp. 145-161). New York: Routledge.
- Kind, P., & Osborne, J. (2017). Styles of Scientific Reasoning: A Cultural Rationale for Science Education. *Science Education*, 101(1), 8-31.
- Machluf, Y., Gelbart, H., Ben-Dor, S., & Yarden, A. (2017). Making authentic science accessible—the benefits and challenges of integrating bioinformatics into a high-school science curriculum. *Briefings in Bioinformatics*, 18(1), 145-159.
- NIH. (2001). NIH Working Definition of Bioinformatics and Computational Biology. Available: <https://www.bisti.nih.gov/>.
- NRC. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington, D.C.: The National Academies Press.
- OECD. (2016). *PISA 2015 Science Framework. In PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic and Financial Literacy*. OECD Publishing, Paris.
- Schönborn, K. J., & Anderson, T. R. (2009). A model of factors determining students' ability to interpret external representations in biochemistry. *International Journal of Science Education*, 31(2), 193-232.
- Wagh, A., Cook-Whitt, K., & Wilensky, U. (2017). Bridging inquiry-based science and constructionism: Exploring the alignment between students tinkering with code of computational models and goals of inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(5), 615-641.
- הפיקוח על הביוטכנולוגיה (2017). תכנית לימודים במערכות ביוטכנולוגיות. המנהל למדע וטכנולוגיה, משרד החינוך, ישראל.
- משרד החינוך, הענן החינוכי (ללא תאריך). פרויקט ביו-אינפורמטיקה. אוחזר מתוך http://sites.education.gov.il/cloud/home/Lemida_Merahok/Pages/bio_project.aspx

הערכת עמיתים בסביבת למידה מבוססת פרויקטים: פיתוח משובים ברמת חשיבה גבוהה

מאיה אושר ופרופ' מירי ברק
הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל

תקציר

משוב עמיתים הינו תהליך בו הלומדים כותבים הערות לחבריהם לקורס במטרה לסייע בשיפור תוצרי הלמידה. בעוד שהשימוש במשוב עמיתים הולך וגדל בקורסים הנדסיים הנלמדים בגישה מבוססת פרויקטים, בחינת איכות המשובים לא זכתה לתשומת לב מספקת. לפיכך, מחקר זה שם למטרה לפתח ולתקף טקסונומיה שתסייע לבחון ולהעריך את איכות המשובים שסטודנטים להנדסה מעניקים לפרויקטים של חבריהם. המחקר כלל ניתוח דדוקטיבי ואינדוקטיבי של משובים במסגרת הקורס 'ננוטכנולוגיה וננו-חיישנים' של הטכניון. ממצאי המחקר הצביעו על ארבע קטגוריות להערכת משובים המאופיינות במדרג עולה, בהתאם למיומנות החשיבה הנדרשת מצדו של המעריך.

מבוא

הערכת עמיתים הינה אסטרטגיית הוראה מוכרת ומוערכת בה הלומדים לוקחים חלק בשיפוט והערכה של תוצרי הלמידה של עמיתיהם (Sadler & Good, 2006; Topping, 2013). מחקרים רבים התמקדו ביתרונות התהליך לקידום הלמידה (Barak & Rafaeli, 2004; Falchikov & Goldfinch, 2000). עם זאת, התהליך עשוי להוביל לקשיים שונים, כאשר אחד הבולטים שבהם הינו מידת האמינות והדיוק של הציונים הניתנים על ידי סטודנטים בהשוואה לאלו הניתנים על ידי צוות ההוראה (Liu & Carless 2006; McConlogue, 2015). גורם אשר תועד כבעל פוטנציאל לשיפור מידת ההלימה בין ציוני העמיתים לציוני צוות ההוראה הינו הוספה של משוב עמיתים, משמע- הערות כתובות המסייעות בשיפור העבודה (Falichikov & Goldfinch, 2000; Li et al., 2016; Liu & Carless, 2006). משוב עמיתים נמצא כמפתח תוצרי למידה ברמה גבוהה (Barak & Rafaeli, 2004), מעודד חשיבה ביקורתית (Liu & Carless, 2006; Nicol, Thomson & Bresli, 2014) ומעורבות של הלומדים (Bloxham & West, 2004).

הספרות מדגישה את החשיבות שבהערכת איכות משוב העמיתים (Hattie & Gan, 2011; Gielen, 2017; Wengrowicz, Dori, & Dori, 2017; Voet et al., 2017; De Wever, 2015). ועמיתיה (2017) הציגו סולם לבחינת משובי עמיתים, הנע בין "חוסר הבנה", דרך "הבנה בסיסית" ועד "הבנה מורכבת". חוקרים אחרים הבחינו בין שני סוגי משובים: אימות והרחבה (לדוגמה, Gielen & De Wever, 2015; Voet et al. 2017). אימות מתייחס להערות הקובעות באופן דיכוטומי האם העבודה מוצלחת או אינה מספקת; בעוד שהרחבה מתייחסת להערות המציגות מידע רלוונטי לתיקון טעויות ושיפור העבודה (Hattie & Gan, 2011; Coll, Rochera, & De Gispert, 2014; Gielen & De Wever, 2015).

במשובים מסוג הרחבה ניתן להבחין בין שני סוגים של הערות: מידעי והצעתי (Voet et al., 2017). הראשון מתייחס להערות המספקות מידע רלוונטי נוסף, בעוד שהשני מתייחס להערות המכילות המלצות ספציפיות לתיקון טעויות ולשיפור העבודה המוערכת (Strijbos, Narciss, & Du'nnebier, 2010; Gielen & De Wever, 2015). הערות משני הסוגים - מידעי והצעתי - נמצאו כבעלות ערך רב לשיפור תוצרי הלמידה של סטודנטים (Butler, 1987; Hattie & Gan, 2011; Alvarez, Espasa, 2015). הערות אלו תועדו כמניעות את הלומדים לתקן את עבודתם (Walker, 2015) ולפתח הבנה עמוקה יותר של התכנים הלימודיים (Coll et al., 2014). הצורך בביצוע הערכת עמיתים מתעצם בהקשר לקורסים בהם הציון מבוסס לא רק על מבחנים סגורים, אלא גם, ובעיקר, על משימות פתוחות המעודדות חשיבה ברמות גבוהות (Barak, Watted & Haick, 2016; Cevik, 2015). דוגמה לכך ניתן לראות בקורסים הנדסיים המבוססים על למידה מבוססת פרויקטים.

הערכת עמיתים בקורסים מבוססי פרויקטים

למידה מבוססת פרויקטים (PBL- Project-based Learning) הינה גישה פדגוגית המאופיינת על ידי חקירה של בעיה אותנטית המובילה לפיתוחו של תוצר לימודי (Barak & Dori, 2005; Jaime)

Wengrowicz et al., 2017; et al., 2016). גישה זו מעודדת למידה סביב שאלה פתוחה, מאתגרת הקשורה לחיי היום יום של הלומדים. פתרונה כרוך בגיוס חשיבה ביקורתית, תהליכי קבלת החלטות ופעילות חקר לאורך תקופת זמן (Jaime et al., 2016; Krajcik, McNeill, & Reiser, 2008). תהליך החקר מעודד פיתוח של תוצר מוחשי בצורה של עבודה כתובה, פוסטר, דגם ועוד (Barak & Dori, 2005; Krajcik et al., 2008). תהליך ה-PBL מספק ללומדים הזדמנות לעבוד באופן עצמאי בקבוצות קטנות תוך שיתוף רעיונות ומתן הערכה לעמיתים.

למידה מבוססת פרויקטים אומצה כגישה חינוכית לחיבור המדע והטכנולוגיה לחיי היום-יום, כמו גם לקידום האוריינות המדעית והידע ההנדסי של הלומדים (Jaime et al., 2005; Barak & Dori, 2005; Wengrowicz et al., 2017). פיתוח והערכה של פרויקטים הפך לנפוץ בקורסים מסורתיים בחינוך הגבוה (Wurdinger & Qureshi, 2015). הצורך בביצוע הערכת עמיתים מתעצם בהקשר לקורסים מבוססי פרויקטים בהם המשימות הלימודיות מכוונות לשם פיתוח חשיבה ברמה גבוהה (Barak et al., 2016; Cevik, 2015). מכאן עולה הצורך בבחינה מדוקדקת של איכות המשובים שלומדים רושמים לעמיתיהם, בעיקר בקורסים הנדסיים בהם רמת המורכבות של התכנים הנלמדים גבוהה ביותר.

מטרת המחקר והאוכלוסייה

מטרת המחקר הנוכחי הייתה לפתח ולתקף טקסונומיה שתסייע לבחון ולהעריך את איכות המשובים שסטודנטים מעניקים לפרויקטים של חבריהם. המחקר כלל מדגם של 50 סטודנטים בתחומי המדעים וההנדסה אשר למדו קורס מבוסס פרויקטים בננוטכנולוגיה וננו-חיישנים, שניתן בטכניון על ידי פרופ' חוסאם חאיק, מהפקולטה להנדסה כימית. משימות הקורס עוצבו על פי העקרונות המנחים של קורסים מבוססי פרויקטים (Krajcik et al., 2008). הסטודנטים עבדו על פרויקט סופי בקבוצות קטנות של 3-4 סטודנטים. הלמידה עוצבה כתהליך מתמשך שכלל מענה על שתי שאלות פתוחות שנועדו להנחות את הסטודנטים באופן הדרגתי לעבר העבודה על פרויקט הגמר (אשר היווה 50% מכלל הציון בקורס). הפרויקט הונחה על ידי שאלה מניעה המערבת את הסטודנטים בחקר בעיה - תכנון של ננו-חיישן חדשני העשוי לעזור לבני אדם בחיי היום יום. התהליך אופייני בשימוש בכלים טכנולוגיים עבור איסוף, ניתוח והדמיה. התוצר היה עבודה כתובה באורך של כעשרה עמודים.

לאחר הגשת העבודה הכתובה, התבקשו הסטודנטים להעריך באופן יחידני (כל סטודנט/ית בנפרד) פרויקטים של לפחות שלוש קבוצות. ההערכה כללה שני שלבים: מתן ציון מספרי על פי מחוון מפורט ומתן הערכה כתובה הכוללת הצעות לשיפור. תהליך ההערכה היה הדרגתי, כאשר מתן הערכת עמיתים לשתי משימות מקדימות לפרויקט נועד להקנות ללומדים התנסות במתן ציון וכתיבת הערות ובכך לחזק מיומנויות אלו. הפרויקטים חולקו לסטודנטים באופן אקראי וההערכה התבצעה בעילום שם בעזרת מערכת Moodle. ביצוע ההערכה היה חובה לכל משתתפי הקורס.

כלי ושיטות המחקר

במחקר הנוכחי נעשה שימוש במערך מחקר איכותני מסוג תיאוריה מעוגנת בשדה, שכלל ניתוח דוקטיבי ואינדוקטיבי של ההערות הכתובות. ההערות קובצו למסמך אחד וחולקו למקטעים קצרים, בהתאם לתוכנם. שני חוקרים סיווגו מקטעי טקסט רלוונטיים כ"אימות" או "הרחבה" - שתי קטגוריות משוב אשר הוצעו במחקרים קודמים (Gielen & De Wever, 2011; Hattie & Gan, 2011; Voet et al., 2017). מקטעי המשוב אשר לא התאימו לאחת משתי הקטגוריות הללו אופיינו כקטגוריות חדשות. כל קטגוריה חולקה לשתי קטגוריות משנה. הקטגוריות סודרו בסולם עולה, בהתאם למאמץ הקוגניטיבי הנדרש מצד המעריך לכתוב אותן ובהתאם לתרומתן לשיפור הפרויקטים של העמיתים. החלוקה של כל מקטע משוב לקטגוריה המתאימה לו נבחנה בקרב ארבעה מומחים במחקר חינוכי. שני המקודדים הראשונים היו מחברי המאמר, אשר הגיעו, לאחר דיון מעמיק, להסכמה מלאה ביניהם. לאחר מכן, מדגם מקודד של מקטעי משוב (20%) הוצג לשני שופטים נוספים. ההסכמה בין שני השופטים חושבה על פי מבחן כהן קאפה (Cohen, 1968) וציינה מידה גבוהה של הסכמה ($Kappa = .86$), עם מרווח ביטחון של 95%.

ממצאים

מאפייני איכות משובי העמיתים

ניתוח איכותני של משובי העמיתים זיהה ארבע קטגוריות: חיזוק, הצהרה, אימות והרחבה. שתי הקטגוריות הראשונות - חיזוק והצהרה - זוהו בתהליך הניתוח האינדוקטיבי, משמע, עלו מתוך הנתונים הגולמיים כתמות חוזרות ודומיננטיות. שתי הקטגוריות האחרונות - אימות והרחבה - זוהו בתהליך הניתוח הדדוקטיבי, משמע, אומצו חלקית ממחקרים קודמים בתחום (Butler, 1987; Hattie & Gan, 2011; Gielen & De Wever, 2015; Voet et al., 2017). הפסקאות הבאות כוללות תיאור מפורט של כל קטגוריה ודוגמאות נבחרות מתוך הערות הכתובות של משתתפי המחקר.

הערות מסוג **חיזוק** הינן קצרות, כלליות ואינן קשורות באופן ממוקד לתוכן הפרויקט המוערך. ניתוח הערות מסוג חיזוק הצביע על שתי קטגוריות משנה: 'חיובי' ו-'שלילי'. הערות מסוג 'חיזוק חיובי' ציינו באופן שטחי כי דבר מה נעשה היטב, לדוגמה: "כל הכבוד"; "גאוני! הלואי ואני הייתי חושב על זה". הערות מסוג 'חיזוק שלילי' ציינו כי דבר מה נעשה בצורה שאינה מספקת, לדוגמה: "העבודה שלכם מידי ארוכה"; "העבודה נעשתה באופן לא טוב". הערות 'חיזוק' סווגו כמשוב באיכות נמוכה מאחר והן לא דורשות מחשבה מעמיקה מצד המעריך ואינן תורמות לשיפור עבודתם של העמיתים.

הערות מסוג הצהרה כוללות משפט קצר המתאר גורמים הקיימים או חסרים בעבודה המוערכת בהתאם לקטגוריות המופיעות במחווה, ללא כל הסבר נוסף. ניתוח הערות מסוג הצהרה הצביע על שתי קטגוריות משנה: 'טכנית' ו-'סמנטית'. הערות מסוג 'הצהרה טכנית' התייחסו להצלחה או לכישלון לעמוד בהנחיות הטכניות להגשת המשימה, לדוגמה: "המושג נחקר ביסודיות עם הפניות טובות" (ר.ד., סטודנט להנדסה כימית). הערות מסוג 'הצהרה סמנטית' התייחסו באופן שטחי למושגים או לתהליכים ההנדסיים, לדוגמה: "אני מאמין כי חיישן שכזה המנבא רעידות אדמה הינו רלוונטי עד מאוד ואף קריטי להצלת חיי אדם (א.י., סטודנט להנדסת חומרים). הערות 'הצהרה' סווגו כמשוב באיכות בינונית-נמוכה מאחר והן מצריכות מאמץ קוגניטיבי בינוני מצד המעריך ותורמות מעט לשיפור העבודה המוערכת.

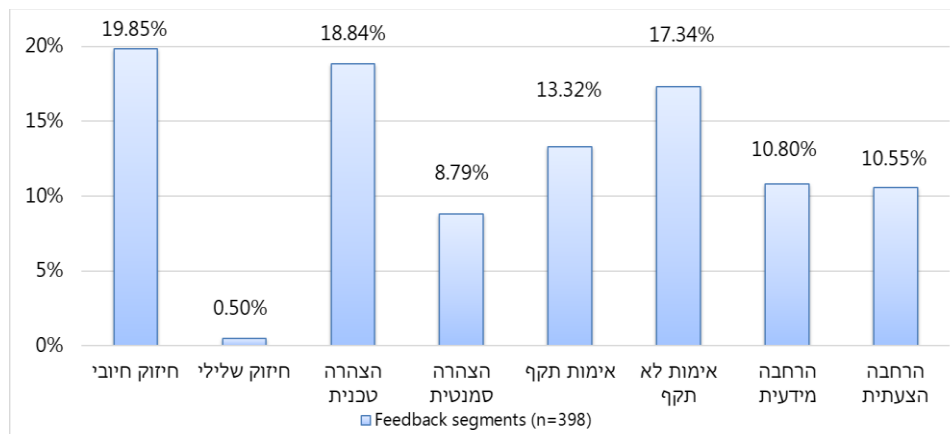
הערות מסוג **אימות** כוללות התייחסות להיבטים המדעיים וההנדסיים של הפרויקט המוערך. הן כוללות התייחסות ספציפית לתכנים ולתרומת הפרויקט, תוך פירוט ונימוק. ניתוח הערות מסוג אימות הצביע על שתי קטגוריות משנה: 'תקף' ו-'לא תקף'. הערות מסוג 'אימות תקף' התייחסו לעמידה מוצלחת בהיבטים המדעיים המוצגים במחווה, בדגש על הדיוק המדעי והחדשנות המוצגות בפרויקט, לדוגמה: "אני חושב שמדובר בחיישן מאוד שימושי ורלוונטי עבור אנשים הרגישים לקרני UV... הוא יכול להוביל לחיים מאוד בריאים ונוחים בחיים במזג אוויר חם (ג.א., סטודנט להנדסה כימית). הערות מסוג 'אימות לא תקף' התייחסו לאי עמידה בהיבטים המדעיים והחדשניים של הפרויקט, לדוגמה: "חיישנים לזיהוי גלוקוז הינם תחום שנחקר רבות. מדובר ברעיון מאוד רלוונטי, אך כזה אשר אינו יכול להיקרא חדשני" (פ.ג., סטודנט להנדסה כימית). הערות 'אימות' סווגו כמשוב באיכות בינונית מאחר והן מצריכות חשיבה אנליטית (דוגמת השוואה והנגדה) בהתייחסות לפרמטרים מדעיים והנדסיים הדרושים על פי המחווה. הערות מסוג זה עשויות לתרום לשיפור פרויקט העמיתים מבחינה מדעית.

לבסוף, הערות מסוג **הרחבה** כוללות זיהוי ותיקון פערים מדעיים ו/או הצעות לשיפור הפרויקט המוערך. ניתוח הערות מסוג הרחבה הצביע על שתי קטגוריות משנה: 'מידעית' ו-'הצעתית', באופן דומה לזה שהוצע במחקרים קודמים בתחום (Walker, 2015; Voet et al., 2017). הערות מסוג '**הרחבה מידעית**' סיפקו מידע נוסף ורלוונטי, לעתים עם הפניות לחומרי הקורס או למשאבים מדעיים חיצוניים. לדוגמה: "ישנו מידע מועט בלבד לגבי הדרך בה ננוטכנולוגיה מנוצלת בפרויקט שלך; עליך לציין למשל, באילו סוגים של ננו חומרים (כגון NP, NW, CNT, או משהו אחר) אתה מתכוון לעשות שימוש" (א.ג., סטודנט להנדסת חשמל). הערות מסוג '**הרחבה מידעית**' סווגו כמשוב באיכות גבוהה מאחר והן מצביעות על יכולות קוגניטיביות של ניתוח וסינתזה של מידע. הערות מסוג '**הרחבה הצעתית**' סיפקו רעיונות והצעות ישימות ויצירתיות לשיפור הפרויקט, פתרונות מדעיים אלטרנטיביים, ו/או הצעות למחקרי המשך. לדוגמה: "היכן אתה מתכוון לשים את ננו החיישן? הזכרת כי האנליט נמצא בתוך הדם, אז אני מציע שנו-החיישן ימוקם במערכת הדם" (ג.ג.,

סטודנט להנדסה כימית). הערות מסוג 'הרחבה הצעתית' סווגו כמשוב באיכות הגבוהה ביותר מאחר והן מצביעות על יכולת קוגניטיבית של הערכה ועל יצירתיות.

התפלגות משובי העמיתים בקרב הסטודנטים

ניתוח הערות הסטודנטים העלה 398 מקטעי משוב, כשמונה מקטעים בממוצע לכל סטודנט ($M = 7.96$, $SD = 4.03$). התפלגות מקטעי המשוב על פי שמונה קטגוריות המשנה מוצגת באיור 1.



איור 1. שכיחות יחסית של מקטעי המשובים בהתאם לקטגוריות המשנה

איור 1 מראה כי משובים מסוג 'חיזוק חיובי' ו'הצהרה טכנית' נמצאו בשכיחות הגבוהה ביותר (19.85% ו-18.84%, בהתאמה). סוגי משוב אלו דורשים חשיבה ברמה נמוכה יחסית מצד המעריך. לעומת זאת, אחוז המשובים מסוג 'חיזוק שלילי' היה נמוך ביותר – חצי אחוז בלבד, דבר המראה על כך שהסטודנטים נמנעו מלתת הערות פוגעניות ומעליבות. מעניין לראות שאחוז גבוה יחסית של הערות היה מסוג 'אימות תקף' ו'אימות לא תקף' (13.32% ו-17.34%, בהתאמה) שסווגו כמשובים באיכות בינונית. הדבר מצביע על כך שהמעריכים התמקדו במושגים ובתהליכים המדעיים וההנדסיים של הפרויקט המוערך תוך השוואתם לפרמטרים המופיעים במחווה. באשר לקטגוריית ההרחבה, אשר סווגה כמשוב ברמה הגבוהה ביותר, נמצאה התפלגות דומה של הערות מסוג 'מידעית' (10.80%) ומסוג 'הצעתית' (10.55%). אם כך, רק כ-20% מכלל ההערות שנכתבו על ידי הסטודנטים קוטלגו ככאלו המצביעות על הערכה וחשיבה ברמה גבוהה ועל היכולת לזהות חסרים מדעיים/הנדסיים ולהציע הערות בונות לשיפור הפרויקטים.

דיון

מחקר זה בחן את איכות המשובים שסטודנטים רשמו זה לזה במסגרת פעילות של הערכת עמיתים מקוונת בקורס הנדסי בננוטכנולוגיה וננו-חיישנים. שילוב של ניתוח תוכן דוקטיבי ואינדוקטיבי העלה ארבע קטגוריות של משוב במדרג עולה: חיזוק, הצהרה, אימות הרחבה. משוב מסוג הרחבה הצעתית נמצא באיכות הגבוהה ביותר בשל היותו בעל הפוטנציאל הגבוה ביותר לשיפור ההיבטים המדעיים וההנדסיים בפרויקט. זאת בדומה לממצאי מחקרים קודמים אשר קבעו כי משוב בו הלומד מציע לעמיתו רעיונות ממשיים לשיפור העבודה, הינו בעל הפוטנציאל הרב ביותר לקידום למידה משמעותית (Butler, 1987; Coll, et al., 2014; Hattie & Gan. 2011; Strijbos et al., 2010; Walker, 2015). המחקר הנוכחי מצא כי אחוז גבוה של הערות הסטודנטים היו מסוג אימות תקף. ממצא זה מלמד כי הסטודנטים הקפידו לענות על הדרישות המדעיות של הפרויקט. הדבר ניתן להסבר על ידי העובדה כי מדובר בקורס מתקדם בטכניון והלומדים הקפידו על דרישות הקורס בכדי לסיימו בהצלחה. יתכן גם שההסברים שניתנו על ידי צוות הקורס ושאלות ההבהרה ששאלו הסטודנטים בזמן אמת, כמו גם ההתנסות הקודמת שלהם במתן הערכה והמחווה המפורט, כל אלו אפשרו הפקה של פרויקטים טובים וחדשניים. הדבר עומד בקנה אחד עם מחקרים קודמים אשר הדגישו את החשיבות שבמתן הכוונה והנחיה מוקדמת לקראת משימת הערכת העמיתים (Gielen & De Wever, 2015; Shute, 2008).

על אף הכתוב לעיל, לא כל הממצאים שעלו במחקר הנוכחי תואמים לאלו של מחקרים קודמים. לדוגמה, שני ממצאים במחקר הנוכחי עומדים בסתירה לאלו שנמצאו במחקרם של גיילין ודה-וויבר (2015). ראשית, במחקר הנוכחי נמצא שרוב מקטעי המשוב היו באיכות נמוכה או בינונית, בעוד שבמחקר קודם נמצא שרוב הסטודנטים סיפקו לעמיתיהם מספר רב יותר של משובים ברמה גבוהה, כאלו שמסייעים בשיפור העבודה (Gielen & De Wever, 2015). שנית, במחקר הנוכחי נמצא שהסטודנטים רשמו אחוז דומה של הערות מסוג הרחבה הצעתית ומידעית, בעוד שבמחקרם של גיילין ודה-וויבר נמצא כי הסטודנטים סיפקו לעמיתיהם יותר הערות מסוג הרחבה הצעתית אל מול מידעית. הסבר אפשרי להבדלים אלו ייתכן וקשור לשוני בין הטקסונומיות בהן נעשה שימוש לבחינת איכות המשובים. במחקרם של גיילין ודה-וויבר (2015) נעשתה הבחנה בין משובים מסוג אימות, הרחבה ומשובים כלליים אשר אינם שייכים לאף אחד מהשניים. במחקר זה, המשובים קוטלגו ברזולוציה גבוהה יותר - לשמונה קטגוריות משנה, תוך הבחנה בין הערות המציינות עמידה בהנחיות המחונן מבחינה מדעית והנדסית (כגון, אימות תקף ולא תקף) אל מול עמידה בפרמטרים ברמה קוגניטיבית נמוכה יותר (כגון, הצהרה טכנית וסמנטית). משמע, הניתוח במחקר הנוכחי נעשה באופן יותר ממוקד.

בהתבסס על מחקרים קודמים, המחקר הנוכחי הרחיב את גוף הידע בתחום הערכת עמיתים בכך שהוא מציג טקסונומיה בסולם עולה של איכות משובים כתובים, בהתאם למיומנויות הקוגניטיביות הנדרשות מצד המעריך. עם זאת, חשוב לציין שהממצאים מבוססים על מדגם קטן יחסית של סטודנטים. ממצאי מחקר זה מעלים שאלות חדשות באשר לאופן בו ניתן לשפר את רמת איכות המשובים של לומדים. גורמים שונים העשויים להשפיע על כך כוללים אסטרטגיות למידה כמו גם אסטרטגיות הוראה שונות. לאור זאת מומלץ לבצע מחקרי המשך בהם יבחנו ההבדלים באיכות המשובים בקורסים נוספים ובסביבות למידה מגוונות (דוגמת קורסים מקוונים), תוך כדי שימוש בטקסונומיה לבחינת איכות משוב העמיתים אשר הוצעה במסגרת מחקר זה.

מקורות

- Alvarez, I., Espasa, A., & Guasch, T. (2012). The value of feedback in improving collaborative writing assignments in an online learning environment. *Studies in Higher Education*, 37(4), 387-400.
- Barak, M. & Dori, Y. J. (2005). Enhancing undergraduate students' Chemistry understanding through project-based learning in an IT environment. *Science Education*, 89(1), 117-139.
- Barak, M., & Rafaeli, S. (2004). Online question-posing and peer-assessment as means for Web-based knowledge sharing. *International Journal of Human-Computer Studies*, 61(1), 84-103.
- Barak, M. Watted, A., & Haick, H. (2016). Motivation to learn in massive open online courses: Examining aspects of language and social engagement. *Computers & Education*, 94, 49-60.
- Bloxham, S., & West, A. (2004). Understanding the rules of the game: Making peer assessment as a medium for developing students' conceptions of assessment. *Assessment & Evaluation in Higher Education*; 29(6), 721-733.
- Butler, R. (1987). Task-involving and ego-involving properties of evaluation: Effects of different feedback conditions on motivational perceptions, interest, and performance. *Journal of Educational Psychology*, 79, 474-482.
- Cevik, Y. D. (2015). Assessor or assessee? Investigating the differential effects of online peer assessment roles in the development of students' problem-solving skills. *Computers in Human Behavior*, 52, 250-265.
- Cohen, J. (1968). Weighted Kappa: Nominal scale agreement with provision for scaled disagreement or partial credit. *Psychological Bulletin*, 70, 213-220.

- Coll, C., Rochera, M. J., & De Gispert, I. (2014). Supporting online collaborative learning in small groups: Teacher feedback on learning content, academic task and social participation. *Computers & Education*, 75, 53–64.
- Falchikov, N., & Goldfinch, J. (2000). Student peer assessment in higher education: A meta-analysis comparing peer and teacher marks. *Review of Educational Research*, 70(3), 287-322.
- Gielen, M., & De Wever, B. D. (2015). Structuring peer assessment: Comparing the impact of the degree of structure on peer feedback content. *Computer in Human Behavior*, 52, 315-325.
- Hattie, J., & Gan, M. M. (2011). *Instruction Based on Feedback*. In P. Alexander & R. E. Mayer (eds). *Handbook of Research on Learning and Instruction* (249–271). New York: Routledge.
- Jaime, A., Blanco, J. M., Domínguez, C., Sañchez, A., Heras, J., & Usandiza, I. (2016). Spiral and project-based learning with peer assessment in a computer science project management course. *Journal of Science Education and Technology*, 25, 439–449.
- Krajcik, J., McNeill, K., & Reiser, B. (2008). Learning-goals-driven design model: Developing curriculum materials that align with national standards and incorporate project-based pedagogy. *Science Education*, 92(1), 1-32.
- Li, H., Xiong, Y., Zang, X., Kornhaber, M. L., Lyu, Y., Chung K. S., & Suen, H. K. (2016). Peer assessment in the digital age: A meta-analysis comparing peer and teacher ratings, *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 41(2), 245-264.
- Liu, N. F. & Carless, D. (2006). Peer feedback: The learning element of peer assessment. *Teaching in Higher Education*, 11(3), 279–290.
- McConlogue, T. (2015). Making judgements: Investigating the process of composing and receiving peer feedback. *Studies in Higher Education*, 40(9), 1495-1506.
- Nicol, D., Thomson, A. & Breslin, C. (2014). Rethinking feedback practices in higher education: A peer review perspective. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 39(1), 102-122.
- Sadler, P. M., & Good, E. (2006). The impact of self-and-peer-grading on student learning. *Educational Assessment*, 11(1), 1-31.
- Shute, V. J. (2008). Focus on formative feedback. *Review of Educational Research*, 78, 153–189.
- Strijbos, J. W., Narciss, S. & Dunnebir, K. (2010). Peer feedback content and sender's competence level in academic writing revision tasks: Are they critical for feedback perceptions and efficiency? *Learning and Instruction*, 20(4), 291-303.
- Topping, K. J. (2013). Peers as a Source of Formative and Summative Assessment. In J. H. McMillan (ed.) *Handbook of Research on Classroom Assessment* (395–412). Los Angeles, CA: Sage.
- Voet, M., Gielen, M., Boelens, R., & De Wever, B. (2017). Using feedback requests to actively involve assessees in peer assessment: Effects on the assessor's feedback content and assessee's agreement with feedback. *European Journal of Psychology of Education*, 1–20. doi.org/10.1007/s10212-017-0345-x
- Walker, M. (2015). The quality of written peer feedback on undergraduates' draft answers to an assignment, and the use made of the feedback. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 40(2), 232-247.
- Wengrowicz, N., Dori, Y. J., & Dori, D. (2017). Meta-assessment in a project-based systems engineering course. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 42(4), 607-624.

Wurdinger, S. & Qureshi, M. (2015). Enhancing college students' life skills through project based learning. *Innovative Higher Education*, 40, 279–286.

אולימפיאדת הביוטכנולוגיה ה-I

יהודית דסקלו

מפמ"רית מגמת ביוטכנולוגיה, משרד החינוך

יום השיא של האולימפיאדה הראשונה לביוטכנולוגיה, התקיים ב 26.2.18 בטכניון – מכון טכנולוגי לישראל.



האולימפיאדה התקיימה **בסימן 70 שנה למדינת ישראל**, בחסות הטכניון ובהובלתה של פרופ' איילת פישמן (יו"ר ועדת המקצוע לביוטכנולוגיה), ומפמ"רית ביוטכנולוגיה יהודית דסקלו. האירוע התקיים בבית הסטודנט בטכניון אשר נפתח בסרטון קצר שהוכן ע"י מנהלי האולימפיאדה וכלל סקירה למספר מחקרים ישראלים פורצי דרך, כגון: פרסי נובל, פיתוח התרופות קופקסון ואזלקט וכו'. פרופ' איילת פישמן פתחה את האירוע בדברי ברכה והזמנת פרופ' אדם שורץ, המשנה הבכיר לנשיא הטכניון, שסיפר על הפעילויות והמחקרים המובילים אשר מתקיימים בטכניון. פרופ' מרסל מחלוף, דיקנית הפקולטה להנדסת ביוטכנולוגיה ומזון בטכניון, נשאה הרצאה בנושא המצוינות והמובילות של הטכניון ובמיוחד על הפקולטה להנדסת ביוטכנולוגיה ומזון, סיפרה על חברות הסטארטאפ המובילות בישראל הן בתחום ההייטק והביוטק, ועל תחום הביוטכנולוגיה והתחומים אשר נושקים לו, כגון: כימיה, ביולוגיה, פיזיקה כולל השימוש בכלים הנדסיים שונים ומגוונים. פרופ' מחלוף הדגישה בדבריה את חשיבות התעשייה של הביוטק ולבסוף איחלה לכל התלמידים של המגמה הצלחה בהמשך דרכם.

האולימפיאדה הינה תחרות המיועדת לתלמידי כתות י"ב, המתמחים בפרויקט הגמר "יישומים בביוטכנולוגיה" בהיקף של 5 יח"ל ואשר מסיימים בשנת הלימודים תשע"ח את עבודת הגמר. פרויקט הגמר הוא חלק ממערך הלמידה במגמת הביוטכנולוגיה, המציג את התפיסה המדעית של המאה ה-21. על פי תפיסה זו מדע יישומי מהווה את חוד החנית להתפתחות התעשייה, הרפואה והחקלאות. פרויקט הגמר הוא מחקר יישומי עדכני המתבצע במוסד אקדמי או בתעשייה, תוך התנסות מעשית ולמידה פעילה.

האולימפיאדה החלה כבר בתחילת השנה, כאשר **בשלב הראשוני** כל תלמידי התיכונים הניגשים בשנה זו לפרויקט הגמר ב"יישומים בביוטכנולוגיה", נבחנו בבחינה על קטע מחקר מעובד, ומתוכם נבחרו התלמידים שהגיעו להישגים הגבוהים ביותר מבין חברי כיתתם. תלמידים אלה העפילו ל**שלב השני** של התחרות והוא שלב הצגת עבודת הגמר באמצעות כרזה מדעית בפני ועדה ארצית של צוות הפיקוח בביוטכנולוגיה.

מבין כלל הפרויקטים שהוצגו, נבחרו ע"י צוות הפיקוח ארבע העבודות הטובות ביותר, וכותביהן העפילו **לשלב הסיום**. הקריטריונים להערכה היו: יצירתיות, חדשנות ותרומה למדינת ישראל.

ארבעת הפיינליסטים הציגו את עבודותיהם בהרצאה של 10 דקות בפני 250 מתלמידי כיתה יב' במגמת ביוטכנולוגיה מכל הארץ. לאחר מכן נבחנו בע"פ בפני ועדת שיפוט שכללה את יהודית דסקלו, פרופ' עומר יחזקאלי ופרופ' אילת פישמן מהפקולטה להנדסת ביוטכנולוגיה ומזון בטכניון. לאחר הבחינה נבחרו הזוכים בשלושת המקומות הראשונים, שזכו במלגות לימוד בטכניון (איור 1):

במקום הראשון: חוה הרמן, מאולפנת חורב בירושלים, בנושא: ניטור חומרים גנוטוקסים במי שפכים.

מקום שני: עמית רייכר, מתיכון היובל, הרצליה. בנושא: השפעת חומר מחמצן אנטימיצין A ותוספת ויטמין C על ביטוי חלבון P 53 בתאים פיברובלסטים מריאת אדם
מקום שלישי: שי פרידמן מביה"ס עתיד- מדעים לוד. בנושא: הקשר בין קרינה סלולרית להפעלת מערכת UPR בתאי שמרים.



איור 1. יהודית דסקלו ופרופ' אילת פישמן עם הזוכים באולימפיאדת הביוטכנולוגיה ה-1. מימין לשמאל: יהודית דסקלו, שי פרידמן (מקום שלישי), חוה הרמן (מקום ראשון), עמית רייכר (מקום שני) ופרופ' אילת פישמן. קרידט צילום: אס"ט – אגודת הסטודנטים בטכניון.

במקביל לאולימפיאדה התקיימה תחרות כרזות **מדעיות ארצית** בין כל התלמידים הניגשים לפרויקט הגמר " ביישומי ביוטכנולוגיה", ואשר נשפטו ע"י ועדה ארצית של צוות הפיקוח בביוטכנולוגיה. תערוכת הכרזות התקיימה באולם הכניסה לבית הסטודנט. בסיום יום השיא, הוכרזו הזוכים באולימפיאדה וב "תחרות הכרזות המדעיות".

המורה המוביל שלי - מדברים מהשטח

ד"ר אמונה אבו-יונס עלי

מנהלת מור-טק, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

במטרה לשתף את כלל המורים ובמיוחד מורי מגמת אלקטרוניקה (התמחות ביורפואה), בפעילויות ובהצלחות של מורים מובילים מהשטח, קיימנו ריאיון עם צוות נבחר מהמגמה בבית הספר אורט חולון למנהיגות מדע וטכנולוגיה.

מידע כללי על בית הספר

שם בית הספר: אורט חולון למנהיגות מדע וטכנולוגיה
המגמות בבית הספר: כיתת מופת - מדעית הנדסית, מחשבים בהתמחות סייבר, תקשורת, קולנוע, צילום, אלקטרוניקה – התמחות ביורפואה, אלקטרוניקה – התמחות מערכות אלקטרוניות.

כיתות: חטיבת ביניים, י' – י"ב, י"ג.

מס' מורים: ~ 120

מס' תלמידים: ~ 700

ראיון עם המורים המובילים במגמת אלקטרוניקה – התמחות ביורפואה (איור 1)

אורלי לוי: מורה ותיקה לאלקטרוניקה חברה בצוות הפיקוח של משה"ח וחברה בוועדת היגוי "מור-טק" מרכז המורים הארצי למקצועות טכנולוגיים – טכניון, (35 שנה ותק).

ירון דורי: רכז מגמת אלקטרוניקה - התמחות ביורפואה ומפקח במוט"ל (7 שנים ותק).

רותי קובלסקי: מורה ומחנכת בכירה במגמת אלקטרוניקה - התמחות ביורפואה (32 שנה ותק).



איור 1: ירון דורי (מימין) ואורלי לוי (משמאל).

למה בחרתם במגמת אלקטרוניקה - התמחות ביורפואה?

אורלי לוי: "שמחתי להיות בת יחידה במגמה, התאהבתי בתחום והמשכתי בצבא כטכנאית אלקטרוניקה". אורלי בעלת תואר ראשון באלקטרוניקה מ HIT ותואר שני מאוניברסיטת תל-אביב.

ירון דורי: "התעניינתי מאוד בטכנולוגיה. והמגמה הינה של תלמידים מצטיינים, זה מאוד משך אותי". ירון בעל תואר ראשון ושני באלקטרוניקה מ HIT.

רותי קובלסקי: "התחברתי יותר למתימטיקה מאשר מלל. בצבא הייתי ביחידה מובחרת בחיל האוויר ומשם התחלתי לממש את חלום חיי כמורה במגמה". רותי בעלת תואר ראשון ושני באלקטרוניקה מ HIT.

כיצד מקדמים ומובילים את המגמה בבית הספר?

אנו מקדמים את המגמה ע"י מספר רב של פעילויות בכיתות מ- י' עד י"ב, כגון:

1. קיום ימי עיון לתלמידים בשיתוף עם חברות הייטק, בתי חולים.
2. הזמנת מרצים אורחים מהתעשייה: מנכ"ל טבע ישראל, אלביט, בית חולים וולפסון.
3. קידום פרויקטים מחקריים ע"י שיתופי פעולה עם התעשייה והאקדמיה, או התחברות לרופאים ועמותות ובחירת מנחים לפי התחום שמעניין את התלמידים.

מה האני מאמין שלך כמורה?

אורלי לוי: "ללמד אלקטרוניקה זה ציונות בשבילי. מעבר להוראת מקצוע ככל המקצועות, אני רואה את התרומה למדינה ולחברה ע"י פיתוח המצאות רפואיות, עידוד סטארטאפים, והתרומה לעליונות ביטחונית של ישראל".

ירון דורי: "אלקטרוניקה זה יצירתיות, חדשנות ומתן תחושת אפשרות הצלחה לכל ילד. באמצעות הטכנולוגיה, והאלקטרוניקה בפרט, אפשר להעצים תחושת ערך עצמי בילדים, ליצר עבורם עתיד תעסוקתי ולשנות המעמד הסוציאקונומי שלהם".

רותי קובלסקי: "אני מאמינה בחופש מחשבתי טכנולוגי המשולב בהנחייה ערכית. מחנכת שהטכנולוגיה נגישה לכולם וכל אחד יכול להצליח".

מהם האתגרים בלימודי המגמה?

1. כיתות הטרוגניות.
 2. כיתות גדולות – מספר גדול של תלמידים בכל כיתה.
 3. מערכת שעות עמוסה.
- אנו מתגברים את התלמידים ע"י מתן שעורים פרטיים בעזרת אנשי תעשייה, סטודנטים של פ"ח וסטודנטים מכיתה י"ג.

מהם ההישגים המרשימים ביותר של התלמידים שלכם בשנים האחרונות?

1. הצגת פרויקט ייחודי של 3 תלמידות מכיתה י"ב ביריד MAKERS שהתקיים ברומא תשע"ז. התלמידות פיתחו כפפה לנשים שמדברות בשפת 'אשר' – שפה המיועדת לתקשר ע"י לחיצות על מפרקי האצבעות עבור אנשים חרשים- עיוורים (איור 2).



איור 2: פרויקט הכפפה.

2. קידום ופיתוח תלמידים שמגיעים אלינו מרקע סוציאקונומי ואקדמי נמוך והובלתם למעמד בכיר בצבא ובתעשייה, כגון: למד אצלנו תלמיד בן לאם חד הורית, שמצבו הכלכלי היה קשה. היום הוא מדריך אלקטרוניקה בהתנדבות תלמידי תיכון, לאחר שסיים תואר ראשון בתחום בטכניון. בנוסף, הוא הקים סטארטאפ ומדריך יזמות בטכניון. עוד דוגמאות אחרות: טייסים בצבא, קצינים בכירים בחיל הים, מובילים בחיל מודיעין ומהנדסי אלקטרוניקה.

איזה טיפים הייתם מוסרים למורים מתחילים?

1. אמונה שלמה ביכולותיהם של התלמידים, לשוחח איתם בגובה עיניים. לא לוותר עליהם ולא לוותר להם.
2. חנוך לנער על פי דרכו.
3. לעודד אינטראקציה בין אישית, חשיבה הדדית משותפת, לחשוב מחוץ לקופסא ע"י משימות שמעודדות יצירתיות.
4. לעודד עבודה מעשית ולא רק תאורטית.
5. להיות מנחה לתלמידים, לחפש ליצור וללמוד יחד עם התלמידים.
6. ללמד איך למצוא את מקורות הידע האמין והתקף יותר מאשר הידע עצמו.
7. לעודד עבודת צוות בין המורים בכדי לקדם את המגמה.

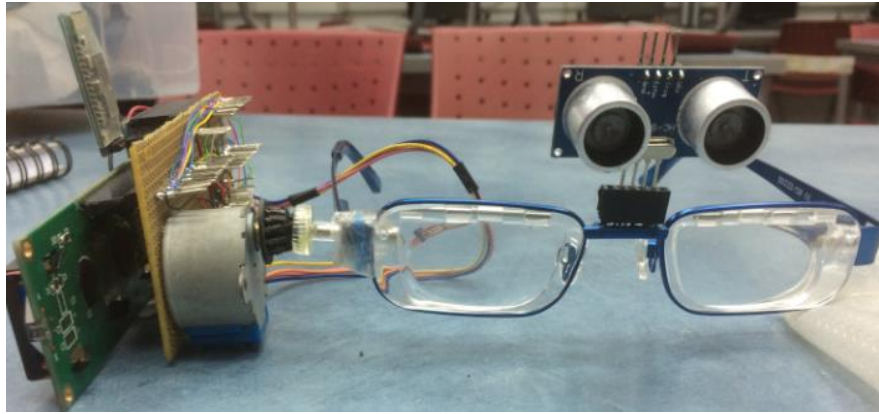
מה הייחודיות של פרויקטי הגמר במגמה שלכם?

פרויקטי הגמר של תלמידי המגמה ברובם מבוססים על מחקרים מדעיים מתקדמים – עבודות חקר. כל פרויקט נמשך בערך 8 חודשים. הפרויקטים בעלי ערך ערכי וחברתי, הם חדשניים יצירתיים ומהווים בסיס ועידוד לסטארטאפים. דוגמאות:

1. פיתוח כספומט לעיוורים.
2. פיתוח מכשיר ביתי לאיתור שבץ מוחי.
3. פיתוח מערכת למדידת רמת סוכר בנשיפה (איור 3).
4. פיתוח מערכת אימון לחולים עם ניוון שרירים.
5. פיתוח משקפיים שמתכווננות אוטומטית לפי זווית המבט (איור 4).



איור 3. פיתוח מערכת למדידת רמת סוכר בנשיפה. הפרויקט זכה בתחרות משרד החינוך במקום ראשון לעזרת בעלי מוגבלויות.



איור 4. פיתוח משקפיים שמתכווננות אוטומוטית לפי זווית המבט

הפרויקטים של התלמידים מוצגים בתחרויות מגוונות, כגון:

1. תחרות של משה"ח שמתקיימת באוניברסיטת תל-אביב.
 2. תחרות חדשנות של אורטיאדה.
 3. תחרות מצוינות של אורטיאדה.
 4. תחרות רובונרים.
 5. סטארטאפים צעירים.
 6. מדענים ומפתחים של מוזיאון ישראל בירושלים.
 7. יריד MAKERS ברומא.
 8. חדרי בריחה בנושאי אלקטרוניקה.
- האתגר הגדול בקידום ופיתוח הפרויקטים הינו התקציב.

לסיכום, העבודה במגמה מאוד מאומצת, אך אנחנו מרגישים שההישגים שהמגמה מגיעה אליהם מעידים על כך שאנחנו בדרך הנכונה.

תודה לאורלי, ירון ורות על הנכונות להתראיין ולספר על עבודתם.

מורים מובילים המעוניינים לשתף את קהל הקוראים בפרויקטים מעניינים מהמגמה/ בסיפורים מהשטח מוזמנים לפנות למייל moretech@ed.technion.ac.il.

נגיעות ממחקרים מובילים בטכניון בשנת 2018

באדיבות דוברת הטכניון

1. הדרך אל הלב

חוקרים בטכניון פיתחו טכנולוגיה חדשנית ליצירת רקמות לב מהונדסות להשתלה בלב פגוע. הפיתוח, שהתפרסם ב-Advanced Functional Materials, הוא פרי שיתוף פעולה בין שני חברי סגל מהטכניון - דיקנית הפקולטה להנדסת ביוטכנולוגיה ומזון פרופ' מרסל מחלוף, ופרופ' איל זוסמן מהפקולטה להנדסת מכונות - כחלק מפרויקט המחקר של ד"ר בת' שואן, פוסט-דוקטורנטית במעבדה של פרופ' מחלוף.

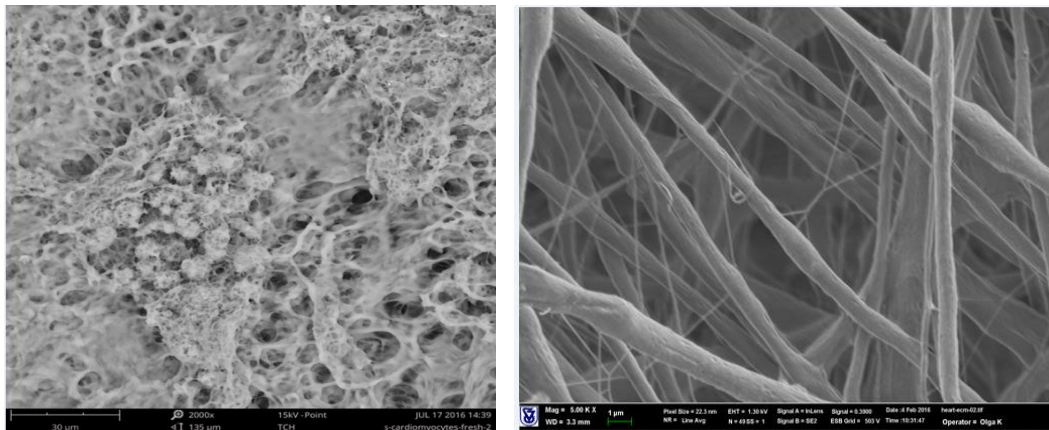
הפיתוח משלב שיטת ייצור הקרויה אלקטרוספינינג ופותחה על-ידי פרופ' זוסמן וחומר ביולוגי ייחודי שפיתחה פרופ' מחלוף לשימוש קליני בטיפול בכשל לבבי.

שיטת האלקטרוספינינג מבוססת על מתיחה של נוזל ועל התגבשותו המהירה לחוט מוצק. המתיחה מבוצעת באמצעות מתח חשמלי המושך את הנוזל בשל היותו טעון בחשמל.

פרופ' מחלוף עוסקת כבר זמן רב בפיתוח שיטות חדשות ליצירת ECM המתאים ליישומים קליניים. ECM, או בשמו המלא extracellular matrix, הוא התווך הבין-תאי שבתוכו שרויים התאים באורגניזם. רשת זאת ממלאת תפקיד מרכזי בתהליכים ביולוגיים חיוניים ובהם התפתחות עוברית, ריפוי פצעים ובלימת התפשטות של תאים סרטניים.

ECM שמקורו ברקמות חזיר נחשב לחומר מבטיח בהנדסת רקמות ולטיפול בפגיעות שונות בבני אדם, פציעות ואולקוס למשל. זאת בשל דמיונו הרב ל-ECM האנושי לא רק במבנהו ובתכונותיו המכניות אלא גם בפעילותו הביולוגית. עם זאת, כדי להשתמש בו בבני אדם דרוש תהליך מורכב שיאפשר שליטה בתכונות החומר, הן כדי להתאימו לשימוש המיועד הן כדי להתאימו לייצור בקנה מידה גדול שבו נדרשת הדירות - כלומר שכל האצוות (סדרות הייצור) יהיו זהות.

המחקר שנערך בטכניון מציג לראשונה ייצור מדויק והדיר של ECM (איור 1) לשימוש ביצירת רקמות לב. הטכנולוגיה החדשה, המבוססת על רקמות ECM שמקורן ברקמות לב חזיר, מאפשרת לייצר ECM אופטימלי ליצירת שתלים ללב, וזאת תוך שליטה מלאה במבנה החומר ברמת המיקרו וברמת המקרו. החוקרים הראו כי בייצור השתלים בשיטת האלקטרוספינינג לא נפגעות התכונות המכניות והפעילות הביולוגית של החומר, דבר המאפשר אינטראקציה עם תאים ורקמות חיות וכן פעילות לבבית. מתוצאות המחקר שערכו החוקרים בעכברים נראה כי השתלים אינם מעוררים תגובה חיסונית ומשמשים חלופה בטוחה.



איור 1: מימין - סיבי ECM המיוצרים בשיטת אלקטרוספינינג, משמאל: תאי לב הגדלים על גבי המטריצה. שתי התמונות צולמו במיקרוסקופ אלקטרוני סורק.

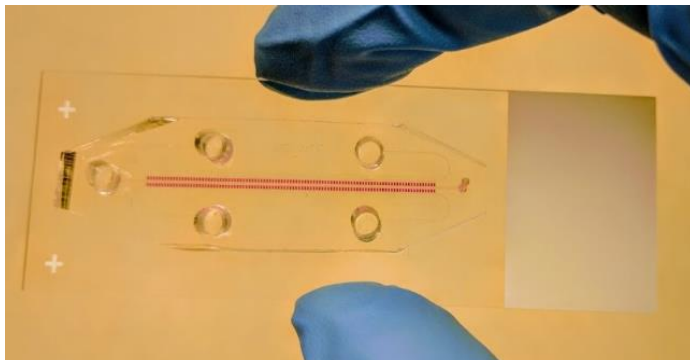
2. מאבחון מוקדם לטיפול ממוקד

אנטיביוטיקה היא אחת הדרכים היעילות ביותר לטיפול בזיהומים חיידקיים. עם זאת, השימוש הנרחב בתרופות אנטיביוטיות מאיץ התפתחות של זני חיידקים העמידים לסוגי אנטיביוטיקה ספציפיים. בשנת 2014 גבו זיהומים עמידים לאנטיביוטיקה (AMR) את חייהם של כ-700 אלף איש ברחבי העולם. עלות הטיפול בזיהומים אלה בארצות הברית לבדה עומדת על כ-35 מיליארד דולר.

טיפול מוקדם הוא מרכיב חשוב בהחלמה. על פי הערכות מבוססות, כל שעה של עיכוב במתן התרופה האנטיביוטית מצמצמת בכ-7.6% את שיעורי ההישרדות של מטופלים הסובלים מהלם זיהומי (septic shock). כדי לא להשאיר את המטופל ללא הגנה מספקים רופאים רבים למטופליהם, בזמן ההמתנה לתוצאות, אנטיביוטיקה "רחבה" במנות גדולות. תופעה זו מאיצה היווצרות של עמידות חיידקים לאנטיביוטיקה וכן פוגעת במיקרוביוטה - אוכלוסיית "החיידקים הטובים" הנמצאת בגוף האדם ומגינה עליו. בהקשר זה מובנת חשיבותן של טכנולוגיות שיוכלו לזהות מראש את מידת העמידות של חיידק ספציפי לאנטיביוטיקה ספציפית. כאן נכנסת לתמונה המערכת החדשנית שפותחה בפקולטה להנדסה ביו-רפואית: AST-SNDA (איור 2). מערכת זו מנתחת את עמידותם של החיידקים לסוגים ספציפיים של אנטיביוטיקה וכך מאפשרת לצוות המטפל לבחור את הסוג היעיל ביותר, וזאת בתוך זמן קצר הרבה יותר מהשיטות המקובלות. כן הדגימו החוקרים את יכולתה של המערכת לבדוק את החיידק מדגימות שתן גולמיות, וכך לדלג על השלב של גידולם. במקרה של דלקת בדרכי השתן מדובר בקיצור הבדיקה בכמה ימים.

את המחקר הובילה דיקנית הפקולטה להנדסה ביו-רפואית בטכניון פרופ' שולמית לבנברג, והוא נערך על ידי שלושה חוקרים במעבדה: הדוקטורנט יונתן אבישר, הפוסט-דוקטורנטית דקל רוזנפלד והדוקטורנט תום בן אריה. המחקר נערך בשיתוף פרופ' משנה מורן ברקוביץ' מהפקולטה להנדסת מכונות בטכניון, הדוקטורנטית מריאנה טרומן-רוזנטיצ'ב וד"ר יובל גפן, ראש המעבדה המיקרוביולוגית בקריה הרפואית רמב"ם, במימון מענק קמין מטעם רשות החדשנות ומרכזי המצוינות CORE-I.

ההתקן שפיתחו חוקרי הטכניון הוא צ'יפ שבתוכו מאות חורים זעירים בגודל ננו-ליטרי (ננו-ליטר הוא אלפית המיליליטר) (איור 2). לתוך כל אחד מהחורים מוכנסים חיידקים אחדים ואנטיביוטיקה ספציפית. זיהוי תגובת החיידק נעשה באמצעות סמן פלורוסנטי, כלים של עיבוד תמונה וניתוח סטטיסטי של הצבעים המתקבלים מהחיידקים בכל החורים הזעירים.



במחקר נבדקו במערכת 12 תמהילים של חיידק-אנטיביוטיקה, ונמצא כי התוצאות, מדויקות ומאפשרות טיפול מוקדם ואפקטיבי בחיידקים גורמי הזיהום. לדברי אבישר, "השימוש בטכנולוגיה שפיתחנו מקטין בכמה סדרי גודל את גודל הדגימה הנדרשת, מקצר בכ-50% את זמן הסריקה, מצמצם משמעותית את

שטחי המעבדה הדרושים לבדיקה ומוזיל את עלותה של כל בדיקה." איור 2: התקן האבחון החדש.

3. ללמוד את המוח הלומד

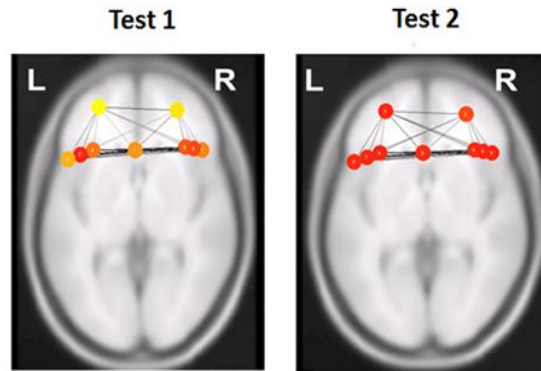
כמעט מחצית מתלמידי ישראל, כך פורסם לאחרונה, מאובחנים כלקויי למידה. נושא זה עולה בדיונים רבים במערכת החינוך ומחוצה לה, וגם הקהילה המדעית מעמיקה את המחקר באשר להיבטים הפיזיולוגיים של לקויות הלמידה.

ד"ר הורוביץ-קראוס, אחת החוקרות המובילות בתחום זה, הצטרפה לטכניון כחברת סגל בפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה אחרי קריירה אקדמית מרשימה ומגוונת. במהלך הפוסט-דוקטורט היא גילתה סמנים אלקטרופיזיולוגיים המאפשרים למדוד כמותית את יכולתם של קוראים המתקשים לזהות את טעויות הקריאה שלהם. היא גילתה גם שאותם סמנים משקפים את האפקטיביות של תוכניות התערבות בילדים עם לקויות למידה: כשיכולת הקריאה השתפרה, מוחם של הקוראים המתקשים הפגין עלייה בעוצמת הפעילות המוחית בעת ביצוע טעות בקריאה (איור 3).

ד"ר הורוביץ-קראוס הקימה בפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה את המרכז הראשון בישראל לדימות מוחי בילדים (il.ac-technion-center-neuroimaging). באמצעות מכשירי EEG ומודל MRI ידודות לילדים, וסביבה נעימה שנבנתה לשם כך, היא עובדת עם ילדים עם הפרעות שונות - דיסלקציה, בעיות בעיבוד שמיעתי, הפרעות פסיכיאטריות ובעיות נוירולוגיות. לדבריה, "בעיות בקריאה נובעות מהפרעות

שונות ומגוונות. בסופו של דבר, קריאה היא המצאה אנושית ולא יכולת הישרדותית טבעית. כדי לקרוא נדרש המוח האנושי לתאם ביעילות בין כמה מערכות עצביות, ופגם בכל אחת מהן עלול להוביל לבעיית קריאה.

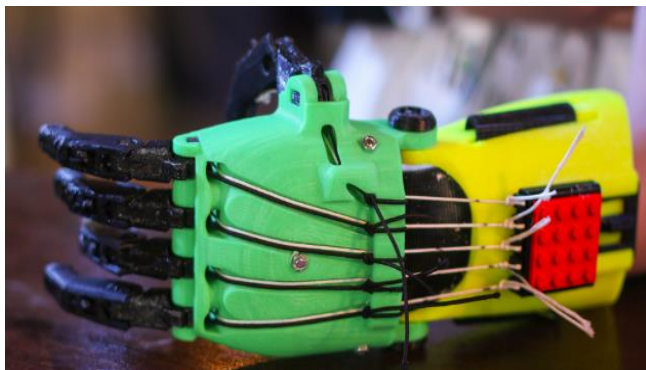
הבשורות הטובות הן שבשלב הילדות, המוח הוא איבר פלסטי מאוד, כלומר אפשר לשנותו באימון ובתרגול. "לכן זה חלון הזמן האידיאלי להתערבות, וזה גם הזמן שבו אנחנו יכולים לאפיין את התפתחות השפה ואת התפתחותו המקבילה של המוח." (איור 3)



איור 3. עליה בסנכרון בין אזורים במח בעקבות אימון הנמשך כחודש. הנבדקים דיסלקטיים, והגברת הסנכרון משפרת את יכולותיהם הניהוליות.

המרכז לדימות מוחי בילדים מתאים לילדים מגיל אפס עד 18 ומעורבים בו מומחים וסטודנטים ממגוון תחומים ובהם ביולוגיה, פסיכולוגיה, פיזיקה, פסיכיאטריה, שפה, מדעי המחשב, הנדסת חשמל והנדסה ביו-רפואית. החוקרים פועלים יחד כדי לשפר את האבחון הניורוביולוגי ולפתח פרמטרים כמותיים לבדיקות הקשורות בבעיות קריאה ובניבויין. "מאחורי הלקויות השונות מסתתרים ילדים נפלאים, חלקם מבריקים ממש, והמשימה שלי היא להצביע על הסמנים הניורוביולוגיים שיובילו לאבחון מוקדם וכך לאפשר לילדים האלה למצות את עצמם כילדים, כנערים וכמבוגרים. כדי להרחיב את היכולות שלנו אני שואפת לרכוש למרכז סורק MRI לילדים, שיאפשר לנו לחקור במדויק את המנגנונים המוחיים שבבסיס הלקות וכך לראות את מה שמסתתר מתחת לקרחון. בסופו של דבר יש כאן הרבה סקרנות אבל גם שליחות גדולה: לאפשר לדורות הילדים הבאים לגדול ללא לקויות שמובילות לסבל, לחוסר אונים ולאלימות."

4. יד בהזמנה



הסטודנט יאיר הרבסט חוקר, במסגרת התואר השני בפקולטה להנדסת מכונות, את השימוש במציאות מדומה למטרת שיקום. זאת בשני אפיקי מחקר: שיטות חדשות להנגשת תמונות לאנשים עם לקיויי ראייה ופיתוח כפפה והתקן הנלבש על הזרוע - התקן לתרגול של רופאים מתמחים ולשיקום חכם המותאם אישית. המחקר לתואר השני נערך בהנחיית פרופ' אלון וולף מהפקולטה להנדסת מכונות

ופרופ' ליהי צלניק-מנור מהפקולטה להנדסת חשמל ע"ש ויטרבי. איור 4: יד ביונית

זו אינה הפעילות הראשונה של יאיר בתחום השיקום, שכן זה כמה שנים הוא מתנדב בעמותת Haifa3D ובפרויקט המרכזי שלה, "תנו לי יד בתלת-ממד". מטרת הפרויקט: הדפסת ידיים מותאמות אישית לילדים הזקוקים לכך ותמיכה טכנית מתמשכת.

Haifa3D נוסדה בשנת 2013 על ידי ד"ר יואב מדן וד"ר יעקב מלינוביץ', שאליהם חבר הרופא ד"ר חזי שוטלנד, וכיום היא פועלת כשלוחה של פרויקט e-NABLE העולמי. פרויקט זה נוסד על ידי ד"ר ג'ון שול מהאוניברסיטה הטכנולוגית של רוצ'סטר (RIT), והיד המודפסת הראשונה בעולם יוצרה במסגרתו בשנת 2012 לילד דרום אפריקאי קטוע יד. כיום משתמשים בידיים שמפתחת העמותה העולמית אלפי ילדים ומבוגרים בכמה מדינות.

יאיר החל לעסוק בפיתוח ידיים ביוניות (איור 4) כבר בפרויקט הגמר שלו לתואר ראשון בפקולטה להנדסה ביו-רפואית. עם שותפו לפרויקט מורן דוודי, כיום סטודנט לתואר שני בפקולטה להנדסת חשמל, ובהנחייתו של ד"ר יואב מדן, הם פיתחו יד תותבת לבנימין, ילד בן 14 מפתח תקווה. היד תוכננה להעביר לבנימין משוב של תחושה וטמפרטורה מהעצמים שהיא תופסת, וכך לאפשר לו לבצע פעולות עדינות כגון שתיית מים מכוס פלסטיק חד-פעמית מבלי למעוך אותה. התוצר הסופי של הפרויקט משמש בייצורן של ידיים תותבות עבור ילדים אחרים ברחבי העולם.

ד"ר יעקב מלינוביץ' וד"ר יואב מדן, המובילים כיום את הפרויקט החיפני, מסבירים כי "היד המודפסת מחוללת שינוי לא רק בתפקוד הגופני של הילד אלא גם בדימוי העצמי שלו. הניסיון שלנו מראה שהידיים האלה משפרות את מעמדם האישי של הילדים, ורובם מבקשים מאתנו לעצב אותן באופן בולט - כיד של גיבור-על, של סופרמן או של איירון מן למשל - כדי לשפר את הסטטוס החברתי שלהם."

"הממסד בישראל אינו נותן פתרון רפואי וכלכלי לילדים שנולדו ללא כף יד, "אומר יעקב. "הבעיה היא שהילדים חסרי כף היד אינם מקבלים אחוזי נכות מהביטוח הלאומי, כי לכאורה הם מתפקדים היטב כתלמידים. לכן במקרים רבים נדרשים ההורים, לממן את הפרוטזות האסתטיות. התקנים אלה מתחלפים לעיתים יותר מפעם בשנה עקב גדילת הילד ואינם מספקים פתרון תפקודי כלשהו. אנחנו בעמותה מספקים את הידיים ללא כל תשלום. מדובר בידיים מכניות בעלות תפקודים בסיסיים. עלות החומרים נמוכה כי היד פשוטה יחסית ומיוצרת במדפסת תלת-ממד על ידי מתנדבים."

פעילות העמותה החיפנית ממוקדת בישראל, אבל מפעם לפעם נקראים הפעילים לסייע לאנשים בחו"ל. כך היה במקרה של ווריס, צעיר ניגרי שארבע מאצבעותיו נקטעו בתאונה. "במקרה הזה, "מסביר יאיר, "נדרש תכנון ייחודי שיאפשר לו להמשיך להשתמש באגודל הטבעי. זאת הייתה עבודתו הראשונה בווריאציה כזאת, ובסופו של דבר הצלחנו להשלים את התכנון על פי תמונות שנשלחו אלינו מניגריה. מאחר שאין לווריס מדפסת תלת-ממד זמינה הדפסנו עבורו את היד בסיוע הפקולטה להנדסה ביו-רפואית, שלחנו לו אותה והוא אכן משתמש בה."

יאיר מציין שהעדפותיהם של המטופלים מגוונות מאוד. באפריקה הנטייה היא לבקש ידיים בצבע העור, אבל במערב ילדים רבים מבקשים דווקא ידיים חריגות, בולטות, צבעוניות או ארוכות יותר, שהופכות אותם למעין גיבורי-על. "אבל מבחינה אחת, "מסכם יאיר, "כולם רוצים אותו דבר: לתפקד טוב יותר במשחק בכדור, בשתייה ובאכילה ובשאר פעילויות היומיום להיות כמו כולם."

קול קורא להזמנת מאמרים לכתב העת מור-טק

מטרתו העיקרית של כתב העת מור-טק היא לקדם את הוראת המקצועות הטכנולוגיים במגמות:

- אלקטרוניקה
- ביוטכנולוגיה
- מדעית-הנדסית
- מכונות

קהל היעד של כתב העת הוא מורים מובילים, רכזים ומורים המלמדים במגמות אלו. כמו כן, כתב העת משמש במה ואמצעי לשיתוף ידע גם בין בעלי תפקידים נוספים העוסקים בהוראת הטכנולוגיה, לרבות אנשי משרד החינוך, מנהלי בתי ספר, אנשי תעשייה, חוקרים באקדמיה ואנשי מטה ברשתות החינוך הטכנולוגי. כתב העת חושף את קוראיו לחידושים פדגוגיים, להתפתחויות ולעדכונים בתחום הוראת הטכנולוגיה, לחידושים טכנולוגיים, ולנעשה בארץ ובעולם בתחומי הוראת הטכנולוגיה. כתב העת מור-טק מזמין את קוראיו לשלוח מאמרים לפרסום בגיליון הבא. יתקבלו מאמרים בעברית שעניינם הוראת הטכנולוגיה. ניתן לשלוח גם מאמרים המתורגמים משפה אחרת שפורסמו בכתבי עת אחרים בארץ ובעולם ובתנאי שהשולח יסדיר את עניין זכויות היוצרים. על המאמרים להיות בהיקף של עד 1500 מילים. במקרים מיוחדים יתקבלו גם מאמרים של עד 3000 מילים. כל מאמר שיישלח לפרסום יעבור שיפוט של העורך ושני רפרנטים. על המאמר לכלול תקציר בן 25-75 מילים, סיכום קצר. יש להשתמש בפונט נרקיסיס, גודל 12 עם רווח 1.15 בין השורות.

את המאמר יש לשלוח אל ד"ר אמונה אבו - יונס עלי עורכת כתב העת בדוא"ל:

moretech@ed.technion.ac.il

במכתב המלווה יש לרשום את מקום העבודה ותפקידו/ה של השולח/ת ולהוסיף פרטי התקשורת. יתקבלו לפרסום מאמרים העוסקים בתחומים הבאים:

- הנעשה בחינוך הטכנולוגי בארץ: הוראת הטכנולוגיה וקידומה, הערכת לומדים, פרויקטים ועוד.
- למידה מהצלחות: שיעור מוצלח, פרויקט מוצלח, עבודת צוות טכנולוגי
- מחקר בתחום הוראת הטכנולוגיה
- הוראת הטכנולוגיה וההנדסה מנקודת מבטם של אנשי אקדמיה, תעשייה, מו"פ, מנהלים ובכירים
- נושאים הנדסיים/טכנולוגיים עכשוויים, רעיונות להטמעה בחינוך הטכנולוגי
- השבחת תשתיות, מעבדות וסביבות למידה למורים בחינוך הטכנולוגי
- eLearning בחינוך הטכנולוגי
- תחרויות, כנסים וסמינרים בארץ ובעולם
- סקירת ספרים ואינטרנט

משוב

לקוראי וקוראות כתב העת מור-טק שלום,
אנא השיבו על שאלון משוב זה ושלחו אותו אל מור-טק - מרכז המורים הארצי למקצועות
הטכנולוגיים מדעיים.

[למילוי טופס משוב אלקטרוני לחצו כאן](#)

ניתן לשלוח את המשוב באמצעות דוא"ל

או דואר לכתובת: moretech@ed.technion.ac.il

מורטק - מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים

המחלקה לחינוך למדע וטכנולוגיה

קריית הטכניון

חיפה 32000

אנו מודים לכם על שיתוף הפעולה.

תאריך: _____ שם הקורא/ת: _____ בית הספר: _____

אנא סמנו X בעמודה המתאימה:

1	2	3	4	5	
במידה מועטה מאוד	במידה מועטה	במידה בינונית	במידה רבה	במידה רבה מאוד	
					כתב העת תרם לי מבחינה מקצועית
					בגיליון פורסמו תכנים רלוונטיים למקצועות ההוראה שלי
					הגיליון היה נוח לקריאה
					אוסף המאמרים היה מגוון

בגיליון זה מצאתי עניין בנושאים אלה:

אשמח אם בגיליונות הבאים של כתב העת ייכללו גם הנושאים האלה:

הערות נוספות:

