

## דבר העורך

עורך:  
ד"ר אהרון שחר

חברי המערכת:  
פרופ' אורית חזן  
ד"ר אהרון שחר

יועצת אקדמית של  
המרכז:  
פרופ' אילת פישמן

רכזת המערכת:  
ענבר דרי

כתובת המערכת:  
מורטק - מרכז  
המורים הארצי  
למקצועות  
הטכנולוגיים-  
מדעיים  
המחלקה לחינוך  
למדע וטכנולוגיה  
קרית הטכניון  
חיפה 32000

moretech@technion.ac.il

שנת הלימודים תשע"ה התאפיינה בשינויים רוחביים במבנה תכניות הלימודים והתאמתם לנהלים החדשים של משרד החינוך. השינוי המרכזי מתבטא במבנה חדש להרכב ולמשקל המקצועות בתעודת הבגרות תוך מתן עדיפות למקצועות הליבה: מתמטיקה, אנגלית ומדעים.

באופן טבעי, שינויים אלו גרמו למורים לתחושות שונות ומגוונות. בטוחני שמובילי החינוך בישראל שמים לנגד עיניהם את חשיבות החינוך הטכנולוגי ואת דבריו של דוד בן גוריון שאמר **ביכולתנו המדעית ובשכלולינו הטכני יהיה תלוי אולי עתידנו יותר מאשר כל דבר אחר**.

מורות ומורי החינוך הטכנולוגי וכך גם חוקרי החינוך לא נחים לרגע, ממשיכים להביט קדימה, ולחשוב על דרכים יצירתיות לשפר ולטפח את איכות ההוראה בחינוך הטכנולוגי.

גיליון "מור-טק" מספר 10 פותח בנגיעות ביבול הפיתוחים הטכנולוגיים שהם פרי יצירתם של סטודנטים וחוקרים בפקולטות להנדסה בטכניון ומאוניברסיטת בן גוריון.

בהמשך נוכל לקרוא שני מאמרים מרתקים בתחום הוראת מקצוע טכנולוגי בדגש על תכן הנדסי. המאמרים עוסקים באספקטים של פיתוח חשיבה. האחד, עוסק פיתוח מיומנויות חשיבה מערכתית של תלמידי תיכון. השני, עוסק בתפיסות שגויות בתכן הנדסי תוך שימוש בסימולציות.

בשני מאמרים נוספים, נקרא על תהליכי שינוי התפתחותי של מורים ושל פרחי הוראה בתחום החינוך הטכנולוגי. האחד מתאר תהליך התפתחות מקצועית של מורים לביוטכנולוגיה כאמצעי להטמעת למידה והוראה של ביואינפורמטיקה בשדה. השני, מתמקד בהכשרת סטודנטים להנדסה להוראת מדעים בתיכון.

לבסוף נסיים ברשמים מכנס מורי הביוטכנולוגיה שהתקיים בחופשת הפסח במכון ויצמן למדע, שנושאו המרכזי היה בין יוזמות ויזמות בביוטכנולוגיה.

אין ספק שממתין לכם גיליון עשיר ומגוון. קריאה מהנה.

ד"ר אהרון שחר

3-5	.....	<ul style="list-style-type: none"> <li>• נגיעות מפיתוחים מחקרניים-הנדסיים בטכניון ובאוניברסיטת בן גוריון בשנת 2015</li> </ul>
6-9	.....	<ul style="list-style-type: none"> <li>• קורס בתכן הנדסי כאמצעי לפיתוח מיומנויות חשיבה מערכתית של תלמידי תיכון/ אהרון גרו, עופר דנינו</li> </ul>
10-17	.....	<ul style="list-style-type: none"> <li>• תפיסות שגויות בתכן הנדסי תוך שימוש בסימולציות/ ניסים סבאג, אילנה טרוצקובסקי</li> </ul>
18-25	.....	<ul style="list-style-type: none"> <li>• מורים מובילים לשינוי: התפתחות מקצועית של מורים לביוטכנולוגיה כאמצעי להטמעת למידה והוראה של ביואינפורמטיקה בשדה/ יוסי מחלוף, רונית שינה, רחל סקאל, אוהד לבקוביץ, אילת אברהם, ענת ירדן</li> </ul>
26-31	.....	<ul style="list-style-type: none"> <li>• פרויקט הקליניקה החינוכית: סטודנטים להנדסה כמורים למדעים בבתי ספר תיכון/ אהרון גרו</li> </ul>
32-33	.....	<ul style="list-style-type: none"> <li>• בין יזמות, יוזמות ושיתוף - רשמים מכנס מורים מגמת הביוטכנולוגיה/ יוסי מחלוף, אוהד לבקוביץ, ענת ירדן, אילת אברהם</li> </ul>
34-36	.....	<ul style="list-style-type: none"> <li>• אודות "מורטק" – מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגים מדעיים</li> </ul>
37-38	.....	<ul style="list-style-type: none"> <li>• משוב</li> </ul>

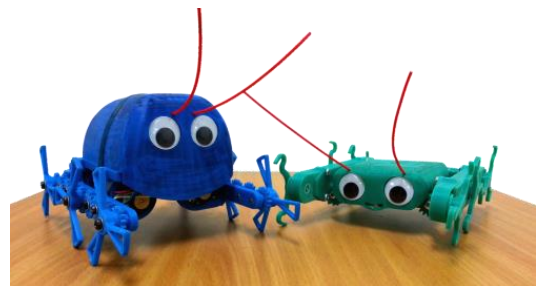
## נגיעות מפיתוחים מחקריים-הנדסיים בטכניון ובאוניברסיטת בן גוריון בשנת 2015

### הטכניון

#### בילי וצ'רלי הולכים בגדול

שני הרובוטים שבנה הדוקטורנט יונתן ספיץ צולחים מכשולים ומדרונות. הסוד: שיטת פיתוח גנטית-אבולוציונית

ראשית היה בילי (איור 1) רובוט כחול בגובה 10 סנטימטר ובאורך 15 סנטימטר. בתום ה'היריון' – חודש של תכנון, הדפסה, תכנות, חיבור האלקטרוניקה ותיקון ליקויים – הוא החל ללכת וגם לצלוח מכשולים. בהמשך הצטרף אליו עמיתו, צ'רלי הירוק. שניהם מסתובבים בקמפוס בהנחייתו של יונתן ספיץ, ה'אבא' שלהם, שמכוון אותם באמצעות הסמארטפון שלו. הם מסוגלים לצלוח קשיים ומכשולים כגון אבנים, חול ושיפועים גדולים.



איור 1: בילי וצ'רלי צילום: דוברות הטכניון.

ספיץ, דוקטורנט בפקולטה להנדסת מכונות, נולד בארגנטינה, ובתום התיכון הגיע לארץ במסגרת תוכנית 'עתידי'. "ההחלטה הזאת היתה שילוב של ציונות שספגתי בבית ובתנועת הנוער, ורצון ללמוד בטכניון. הטכניון הוא מוסד מאוד מפורסם בקרב הקהילה היהודית בארגנטינה, והרבה נערים רוצים להגיע לישראל וללמוד בטכניון."

13 שנים עברו מאז נחת בישראל, והוא זוכר היטב את היום ההוא. "יצאתי מארגנטינה ב-23 בדצמבר 2002, לטיסה של עשרים שעות, שהנחיתה אותי בנתב"ג בשלוש לפנות בוקר. משם הגעתי למרכז הקליטה בכפר סבא." בחודש יוני 2003 הוא סיים אולפן עברית, ובאוקטובר החל את הלימודים במכינת הטכניון. לאחר תואר ראשון בהנדסת מכונות הוא המשיך ללימודי מגיסטר, וב-2012 עבר למסלול הישיר לדוקטורט, שאותו יסיים בקרוב. "הטכניון מאוד קרוב ללבי", הוא אומר. "יש סטודנטים

שסופרים את הימים לסיום התואר, אבל אני דווקא נהנה. לא סתם עשיתי פה שלושה תארים ברצף."

את מחקר הדוקטורט הוא עורך במעבדת SMILE בפקולטה, בהנחיית פרופסור מרים זקסנהויז. "כיום עומדים לרשותנו אמצעים שלא היו זמינים עד לפני שנים לא רבות: כוח מיחשוב עצום ומדפסות תלת-ממד, " הוא מסביר. "נכון שהתכנון נשאר משימה מסובכת, אבל ההדפסה התלת-ממדית מאפשרת לך לייצר 'בבית' מבנים מאוד מורכבים בעלות נמוכה מאוד. כל אחד מהרובוטים שיצרתי עלה לי כ-200 דולר, זה הכל."

את בילי וצ'רלי פיתח יונתן בזמנו הפנוי ("זה לא חלק מהדוקטורט") כהוכחת היתכנות לבנייתם של רובוטים ניידים משוכללים יותר. הוא קידם את השימוש במדפסות תלת-ממד במעבדתו כדי ליצור רובוטים הולכים, שימחישו את שיטות הבקרה שהוא תכנן. סגנון התנועה של הרובוטים פותח בהשראת הטבע, כלומר – הליכה טבעית. "בני אדם הולכים מגיל שנה או שנתיים, ולכן נראה להם שהליכה היא דבר פשוט מאוד – לפחות במישור. רק בתנאי שטח קשים הם נדרשים להתרכז בצעדיהם. גם הבקרים שפיתחתי עובדים ללא צורך במשום במישורים חלקים, וכאשר הם נעים בשיפועים הם משתמשים במשום מינימלי." כדי להצמיד את הרובוטים שלו הוא בנה 'אלגוריתם גנטי' – אלגוריתם המתפתח בסימולציה של 'מוטציות' והישרדות המתאימים ביותר.

"ההצלחה שלי היא בבניית רובוטים בעלי עבירות גבוהה, שאינם יקרים ולכן אפשר לייצרם גם כ'נחילים' של רובוטים לשימושים שונים בתחום הביטחון ובליווי וטיפול באנשים חולים. ואת שיטת הבקרה שפיתחתי (ונרשמה כפטנט) אפשר ליישם גם לבקרת הליכה של רובוטים דמויי-אדם וגם ברובוטים רפואיים (כמו ReWalk) וברובוטים לשיקום הליכה. ובאמת, כדי לתרגם את הרעיון ולהפוך אותו למיזם נרשמתי לתחרות BizTEC וגם לתוכנית Runway של Cornell-Tech."

(באדיבות דובר הטכניון)

## עקוב אחרי – גירסת הטכניון

**סטודנטים בטכניון פיתחו אלגוריתם חדשני, המאפשר לעגלת הקניות לעקוב אחר הקונה מבלי שיצטרך לגעת בה. גם את העגלה עצמה הם בנו לבדם**

**ד**מיינו לכם תמונה עתידינית: אתם בסופרמרקט, ועשרות עגלות מטיילות בין המדפים באופן עצמאי, נוסעות כמו כלב נאמן אחר הקונים, עוקבות אחריהם ממדפי החלב למדפי הלחם, ממדפי הירקות לקופה. נשמע נחמד? עומרי אלימלך ואוהד רוסנק, סטודנטים לתואר ראשון מהפקולטה להנדסת חשמל בטכניון, פיתחו עגלת קניות כזאת: עגלה רובוטית הנעה באופן עצמאי ועוקבת אחר הקונה.

עומרי ואוהד, בני דודים וחברים טובים מילדות, אהבו תמיד לבנות דברים ולהבין כיצד הם פועלים. "כשהיינו קטנים, מספר עומרי, שיחקנו הרבה בלגו הנדסי ובנינו רובוטים. אנחנו מאוד אוהבים לבנות דברים, ותמיד היה לנו ברור שכשנהיה גדולים נלמד הנדסה בטכניון."

"כשהיינו צריכים לבחור פרויקט גמר, מוסיף אוהד, היה לנו ברור שנעסוק בפרויקט הקשור לרובוטיקה, וכך הגענו למעבדה לבקרה, רובוטיקה ולמידה חישובית בפקולטה."

הרעיון לפרויקט הספציפי עלה במוחם של השניים בעקבות חוויותיו של אוהד עם אמו בסופרמרקט. "אמא שלי אוהבת לקנות בסופר, מעמיסה עגלות, ופשוט נמאס לי ללכת אחריה בסופרמרקט ולדחוף את העגלה, אז החלטנו לפתח עבודה עגלת קניות רובוטית-עצמאית, שתעשה במקומי את העבודה."

"אמא של אוהד התלהבה מהרעיון, והתחלנו לעבוד על הפרויקט באופן רציני, אומר עומרי. "התחלנו לחקור באינטרנט ולחפש פרויקטים דומים שנעשו בעבר. להפתעתנו, עד כה מעולם לא פותחו עגלות רובוטיות הנעות באופן עצמאי. מצאנו כמה עגלות העוקבות אחר הקונה בהפעלה בשלט רחוק, אך לא עגלה רובוטית שתעקוב אחריו באופן אוטונומי ממש."

בפקולטה חשבו שהרעיון לפרויקט שאפתני מדי לתואר ראשון, משום שהוא מבוסס על עיבוד תמונה בזמן אמיתי, אך השניים לא אמרו נואש. הם השקיעו חשיבה רבה בכתיבת האלגוריתם שיאפשר את זיהוי הקונה ועקיבה אחריו בזמן אמת.

על העגלה (איור 2) הרכיבו השניים מצלמת קינקט, הנותנת תמונת עומק טובה ומזהה את המשתמש שאחריו צריכה העגלה לעקוב. המצלמה מעבירה את המידע למעבד, המסיע את העגלה על סמך אלגוריתם המעקב. "זו מערכת לומדת, מסביר עומרי, "המעבד אוגר את המידע ומשפר את הביצועים כל הזמן."



**איור 2: דגם עגלת הקניות** צילום: דובר הטכניון

"מצלמת הקינקט איפשרה לנו לקבל תמונת עומק טובה בזמן אמת, הוא מוסיף. "המצלמה זולה וקלה יחסית, והיא יודעת לזהות בני אדם, אך היינו צריכים לפתח אלגוריתם ששייך את העגלה ללקוח ויעקוב אחריו בזמן אמת. זה היה האתגר המרכזי והמשמעותי ביותר בפרויקט."

"גם את העגלה ייצרנו לבד, אומר אוהד. "מצאנו עגלת קניות מפורקת במזבלה, חלודה וללא גלגלים, ובנינו אותה מחדש. ריתכנו את המבנה שלה מחדש כך שיהיה קל וגמיש, חיברנו לה מצלמת קינקט, סוללה חזקה וכרטיס מחשב, תוך הקפדה יתרה על עיצוב המוצר."

קובי כוחי, ראש המעבדה לבקרה, רובוטיקה ולמידה חישובית בפקולטה להנדסת חשמל, הנחה וליווה את הסטודנטים בפרויקט. "הפרויקט קיבל את הציון 100. מבחינתנו בפקולטה, תהליך הלמידה שהסטודנטים עוברים הוא הדבר המשמעותי, ולא דווקא המוצר הסופי. במהלך הקורס נדרשים הסטודנטים לחקור לעומק טכנולוגיות חדשות, והם נחשפים ליזמות ולפיתוח מוצר."

"מבחינתנו הצלחנו בפרויקט, מסכמים אוהד ועומרי. "זהו פרויקט סטודנטיאלי שיש להמשיך לעבוד עליו ולשפר אותו. אנו מאמינים שבעתיד יפותח ציפ ייעודי שיחליף את מעבד הנתונים שלנו. המוצר שלנו עדיין לא מושלם, אבל נמשיך ונפתח אותו בעתיד."

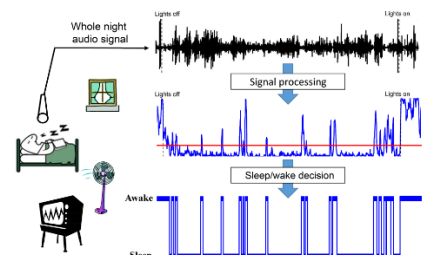
(באדיבות דובר הטכניון)

## מערכת חדשנית ללא חיישני מגע להערכת איכות השינה

גישה זו עשויה לפשט את הליך האבחון ותאפשר שינה טבעית שאינה מושפעת מחיישני מגע ואשר ניתן להשתמש בה בבדיקה בבית הנבדקים

מסגרת שיתוף פעולה מחקרי בין מעבדת המחקר לעיבוד אותות ביורפואיים, בראשותו של ד"ר יניב ציגל מהמחלקה להנדסה ביורפואית מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב והיחידה לחקר הפרעות שינה-ערות, בראשותו של פרופ' אריאל טרסיוק, מהמרכז הרפואי האוניברסיטאי סורוקה, פותחה מערכת חדשנית ללא חיישני מגע להערכת איכות השינה באמצעות הקלטת קולות הנשימה במשך שנת לילה.

מחקר זה מציג גישה חדשה פורצת דרך להערכת איכות השינה באמצעות מיקרופון שאינו נוגע בנבדק. פותחו אלגוריתמים לניתוח אותות של קולות הנשימה שאפשרו את הסיווג של מצבי שינה / ערות מהקלטת לילה שלם (איור 3).



איור 3: מערכת שמע להערכת איכות השינה

ביצועי גישה זו תואמים ואפילו גוברים על ביצועי טכנולוגיות קיימות לשערוך שינה המשתמשות בחיישני מגע. גישה זו עשויה לפשט את הליך האבחון ותאפשר שינה טבעית שאינה מושפעת מחיישני מגע ואשר ניתן להשתמש בה בבדיקה בבית הנבדקים.

במחקר, שפורסם בעיתון PLoS One [1] נבדקה ההשערה כי ניתן לאמוד את השינה באמצעות ניתוח אותות שמע של קולות הנשימה. הרעיון שעומד מאחורי תפיסה זו הוא שמעברים משינה לערות ולהיפך משפיעים על בקרת פעילות הנשימה וזרימת האוויר שבאים לידי ביטוי בשינויים בדפוסי קולות

הנשימה. מחקר זה הוא חלק מעבודת הדוקטורט (PhD) של מר אלירן זפנה במחלקה להנדסה ביורפואית, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב.

כידוע, שינה טובה חיונית מאד לאיכות חיים משביעת רצון, לאינטראקציה חברתית ופעילות אינטלקטואלית. בחברה המודרנית, אנשים רבים לא ישנים כמות מספקת של שעות עקב חשיפה לטכנולוגיות כגון צפייה בטלוויזיה, שימוש באינטרנט ובטלפון הנייד.

שינה לקויה יכולה לגרום לתחלואה ולהגברת הסיכון לתאונות – אבחון וטיפול מוקדמים עשויים לשפר את איכות החיים ולהקטין את הסיכוי לתחלואה. גישת הזהב לבדיקת הפרעות שינה מצריכה שהייה של שנת לילה במעבדת השינה (בדיקה פוליסומנוגרפית, Polysomnography) והתקנה של מגוון רחב של חיישנים. עם זאת, בשל העלות הגבוהה של בדיקת השינה במעבדה והצורך בכוח אדם מיומן, מספר מעבדות שינה הוא מוגבל ואנשים רבים אינם מאובחנים ומטופלים. ההנדסה הביורפואית ורפואת השינה נמצאים ב"מסלול מהיר" לעבר פיתוח בדיקות שינה שניתן לבצע בבתי הנבדקים.

לפי שעה, כל הטכנולוגיות הביתיות המצויות מבוססות על חיבור הנבדקים לחיישני-מגע שלעתים קרובות משפיעים על איכות השינה. מכאן – החידוש והחשיבות הרבה של פיתוח המערכת החדשנית ללא חיישני מגע להערכת איכות השינה באמצעות הקלטת קולות הנשימה במשך שנת לילה.

יצוין, כי התעשייה הישראלית נמצאת בחוד החנית של פיתוח חיישנים לבדיקות שינה במעבדה ובבית. למחקר זה יש פוטנציאל רב לפיתוח כיוונים חדשים מדעיים-טכנולוגיים שיכולים להיות משולבים עם טכנולוגיות קיימות. הטכנולוגיה החדשה יכולה לסייע בהגברת הנגישות לבדיקות שינה וכן במעקב אחר טיפול בהפרעות שינה. מחקר זה נתמך על ידי משרד הכלכלה, משרד המדען הראשי, תכנית קמין.

(באדיבות דובר אוניברסיטת בן גוריון)

1. Dafna E, Tarasiuk A, Zigel Y (2015) Sleep-Wake Evaluation from Whole-Night Non-Contact Audio Recordings of Breathing Sounds. PLoS ONE 10(2): e0117382. doi:10.1371/journal.pone.0117382

# קורס בתכנ הנדסי כאמצעי לפיתוח מיומנויות חשיבה מערכתית של תלמידי תיכון

אהרון גרו ועופר דנינו

## חשיבה מערכתית

מקובל להגדיר מערכת כיחידה שלמה המורכבת מרכיבים שונים הפועלת כגוף אחד תוך אינטראקציה של רכיביה [3]. חשיבה מערכתית (Systems Thinking) היא תחום העוסק בראיית השלם ומהווה מסגרת להתבוננות ביחסי הגומלין בין מרכיבי המערכת [4]. ראשיתה של החשיבה המערכתית היא בתורת המערכות הכללית [5], לפיה, בכדי להבין מערכת אין די בחקר התכונות של כל מרכיב בנפרד, אלא יש גם צורך להבין את האינטראקציה בין המרכיבים. המיומנויות העיקריות של חשיבה מערכתית [6]- [7] מפורטות להלן:

- ראיית המערכת השלמה מעבר למרכיביה והבנת תפקוד המערכת מבלי צורך להזדקק לכל הפרטים;
- הבנת קשרי הגומלין והסינרגיות בין רכיבי המערכת;
- התבוננות במערכת מנקודות מבט שונות, למשל:

לנוכח המחסור החריף במהנדסים בישראל ובעולם המערבי, מוסדות חינוכיים פועלים רבות לשם הגברת העניין של תלמידי תיכון במדעים והנדסה. במסגרת זו מתקיימים באוניברסיטאות ימי חשיפה לתחומי ההנדסה השונים [1], ואף פותחו תוכניות לימוד תיכוניות המשלבות עקרונות הנדסיים בלימודי מדעים [2]. לאחרונה, בטכניון – מכון טכנולוגי לישראל פותח קורס ייחודי, בן 16 מפגשים שבועיים של שעתיים כל אחד, המיועד לתלמידי י"ב מצטיינים הלומדים פיסיקה ואלקטרוניקה בהיקף מוגבר. הקורס, "מבוא לתכנ הנדסי", נועד להגביר את העניין של בוגריו בלימודי מדעים והנדסה, לפתח בקרבם מיומנויות חשיבה מערכתית (כמו היכולת להבין את קשרי הגומלין בין רכיבי המערכת והסינרגיות הנובעת מהם) ולהכשירם לעבודת צוות. למיומנויות אלה, שעל פי רוב אינן נלמדות בפקולטות להנדסה, חשיבות רבה בעבודת המהנדס בתעשייה. בקורס התלמידים מתבקשים להשלים – בצוותים של ארבעה ובהנחיית מהנדסים מנוסים עם רקע עשיר בהוראה – משימות הנדסיות תוך שימוש בערכה רובוטית מסוג LEGO® MINDSTORMS® Education EV3. המחקר הנוכחי בדק באיזו מידה (אם בכלל) הושגה המטרה השנייה של הקורס, דהיינו פיתוח מיומנויות חשיבה מערכתית בקרב התלמידים.

מהמדריכים כיצד להשלים את המשימות השונות.

מפגשים 2-3 הוקדשו להיכרות עם הערכה הרובוטית וביצוע פעולות פשוטות כמו הנעת הרכב הרובוטי בקו ישר ומדידת מהירות רגעית ומהירות ממוצעת. במפגשים 4-13 התלמידים ביצעו משימות שונות באמצעות הרכב הרובוטי, כמו למשל, מציאת שטחו המקורב של מצולע בשיטת סכומי רימן. במשימה אחרת, התלמידים תכננו ומימשו מערכת ניווט בה הרכב הרובוטי נע במסלול בו זמן תנועתו הוא הקצר ביותר, בהתאם לעיקרון פרמה. פרויקט הגמר של הקורס, שהתבצע במפגשים 14-16, התמקד בתכנון ומימוש מערכת בקרת מהירות בזמן אמת למנוע חשמלי.

## מערך המחקר

המחקר נועד לאפיין שינויים במיומנויות החשיבה המערכתית של תלמידים שהשתתפו בקורס "מבוא לתכן הנדסי". במחקר השתתפו 32 תלמידי י"ב מצטיינים שבחרו להשתתף בקורס. התלמידים התבקשו למלא שאלון אנונימי בתחילת הקורס ובסיומו. בנוסף, בתום הקורס נערכו תשעה ראיונות חצי מובנים עם תלמידים.

השאלון לאפיון מיומנויות חשיבה מערכתית הוא שאלון דמוי ליקרט בן חמש רמות המתבסס על השאלון להערכת חשיבה מערכתית (CEST) שפותח ע"י Frank ועמיתיו [10]. השאלון כולל 20 היגדים שמשקפים את מאפייני החשיבה המערכתית (או העדרם), שתוארו לעיל, לאחר שעברו התאמה (מבחינת תוכן

○ נקודת המבט התפעולית – המתייחסת למערכת כאל קופסא שחורה;

○ נקודת המבט הזמנית – הבוחנת את תפקוד המערכת כתלות בזמן;

○ נקודת המבט הגנרית – המחפשת דמיון בין המערכת לבין מערכות אחרות;

• יכולת לקיחה בחשבון של שיקולים רחבים יחסית כמו, שיקולים סביבתיים, כלכליים, ארגוניים וכו'.

מחקרים חינוכיים מצביעים על כך שניתן לפתח חשיבה מערכתית בקרב תלמידי תיכון [8] וסטודנטים [9] אם הלמידה מתרחשת בסביבה פעילה.

## תיאור הקורס

כאמור, הקורס כלל 16 מפגשים שבועיים בני שעתיים כל אחד. במפגש הראשון, הוצגה מתכונת העבודה בקורס, לפיה, בתחילת כל מפגש על התלמידים להתחלק, באופן חופשי, לצוותים בני ארבעה תלמידים כל אחד. בכל צוות יוגדר ראש צוות – האחראי על הובלת הצוות וביצוע המשימה, מהנדס תוכנה - האחראי על כתיבת התוכנה, מהנדס חומרה – האחראי על הבניה הפיסית של המערכת ופיסיקאי – האחראי על הגדרת המודל הפיסיקאלי. השיבוץ לתפקידים השונים הוא עפ"י רצונם של התלמידים. לאחר בחירת התפקידים, בעלי התפקידים יקבלו הנחיה

וניסוח) לתלמידי תיכון המבצעים פרויקטים הנדסיים.

כך, למשל, ההיגד הבא: "אם אני אחראי על כתיבת התוכנה בפרויקט, חשוב לי להבין כיצד היא משתלבת עם החומרה של הפרויקט, שמפותחת ע"י חברי צוות אחרים" משקף חשיבה מערכתית, בעוד שההיגד "אני לא מתעניין בעבודתם של אחרים הנוטלים חלק בפרויקט" מצביע על העדרה. ההיגדים תוקפו ע"י שני מומחים בחינוך הנדסי. ערכו של אלפא של קרוונבך (0.80) מעיד על עקיבות פנימית טובה.

## ממצאים

טבלה 1 מציגה את ציון החשיבה המערכתית הממוצע (M) (הנע בין 20 לבין 100) ואת סטיית התקן (SD) בשאלון המקדים, שמולא בתחילת הקורס, ובשאלון המסכם, שמולא בסיומו. הטבלה מעידה כי במהלך הקורס כישורי החשיבה המערכתית של התלמידים השתפרו ושיפור זה מתאפיין בגודל אפקט גדול.

Test	M	SD	Cohen's d
Pretest	78.10	8.88	0.82
Posttest	84.67	7.04	

טבלה 1: ציון מיומנויות חשיבה מערכתית

מציטוטים מדברי התלמידים בראיונות עולה כי הם הבינו כי קיימת חשיבות לקשרי הגומלין בין מרכיבי המערכת:

*"יש מספר תחומים באצרכת: חומרה, תוכנה ופיסיקה, והמטרה היא שהכול ישתלב ביחד."*

בנוסף, התלמידים הכירו בחשיבות הסינרגטיות במערכת:

*"כשאני מתכנת מצמח המהווה חלק מאייפון] אני לוקחת בחשבון חלקים אחרים באייפון [אני לא אחראית על תכנות], כי יכול להיות שהתכנות שלי לא משתלב באופן אוטומאלי עם שאר הרכיבים [באייפון] ולכן אני לא מתכנתת את המצמח הטובה ביותר אלא את המצמח שבזכותה באייפון יהיה הטוב ביותר."*

## סיכום

המחקר המתואר במאמר אפיין שינויים במיומנויות החשיבה המערכתית של תלמידי י"ב שהשתתפו בקורס ייחודי לתכן הנדסי. המחקר הראה כי לאורך הקורס חל שיפור במיומנויות החשיבה המערכתית של התלמידים (אפקט גדול), וכי הם החלו לסגל חלק ממאפייני החשיבה המערכתית.

ניתן לייחס את השיפור הנ"ל לסביבת הלמידה בקורס – סביבת למידה פעילה שנמצאה, כפי שצוין לעיל, כמתאימה לפיתוח חשיבה מערכתית.

המחברים מבקשים להביע את תודתם לגילית פורת ואלי ששון מהמרכז לחינוך קדם אקדמי של הטכניון ולקובי כוחיי ונמרוד פלג מהפקולטה להנדסת חשמל בטכניון על תרומתם הרבה בתכנון ובהוצאה לפועל של הקורס.

מבוסס על מאמר שהוצג בכנס השנתי ה-6 של Canadian Engineering Education Association שהתקיים במאי 2015 בהמילטון, אונטריו, קנדה.



## מקורות

1. P. Molina-Gaudo, S. Baldassari, M. Villarroya-Gaudo, and E. Cerezo, Perception and intention in relation to engineering: A gendered study based on a one-day outreach activity, *IEEE Transactions on Education*, **53**, 2010, pp. 61-70.
2. S. Y. Sohn and Y. H. Ju, Design and implementation of youth engineering adventure program in Korea, *International Journal of Engineering Education*, **27**, 2011, pp. 1107-1116.
3. O. Ben-Zvi Assaraf and N. Orion, Development of system thinking skills in the context of earth system education, *Journal of Research in Science Teaching*, **42**, 2005, pp. 518– 560.
4. P. M. Senge, *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*, Doubleday, New-York, 1990.
5. L. V. Bertalanffy, *General System Theory: Foundations, Development Applications*, George Braziller, New-York, 1968.
6. B. Richmond, Systems thinking: Critical thinking skills for the 1990s and beyond, *System Dynamics Review*, **9**, 1993, pp. 113-133.
7. M. Frank, Assessing the interest for systems engineering positions and other engineering positions' required Capacity for Engineering Systems Thinking (CEST), *Systems Engineering*, **13**, 2009, pp. 161-174.
8. A. Gero and E. Zach, High school programme in electro-optics: A case study on interdisciplinary learning and systems thinking, *International Journal of Engineering Education*, **30**, 2014, pp. 1190-1199.
9. M. Frank and D. Elata, Developing the capacity for engineering systems thinking (CEST) of freshman engineering students, *Journal of Systems Engineering*, **8**, 2005, pp. 187-195.
10. M. Frank, O. Zwikael, and M. Boasson, Jobs requiring a Capacity for Engineering Systems Thinking (CEST): Selection using an interest inventory, *Project Management Journal*, **38**, 2007, pp. 36-44.

# תפיסות שגויות בתכנ הנדסי תוך שימוש בסימולציות

ניסים סבאג ואילנה טרוצקובסקי

## תקציר

אחת התכונות החשובות שיש להנחיל לעוסקים החדשים במקצועות ההנדסה (מהנדסים והנדסאים), זאת היכולת ללמוד לאורך חייהם המקצועיים ( Lifelong Learning). בחשבנו על כך, נדרשים אנו, מחנכי הדור הבא של מהנדסים והנדסאים, להתאמץ על מנת לזהות ולעקור מהשורש (עד כמה שניתן) את ההבנות המוטעות והתפיסות השגויות של תלמידינו. אנו מאמינים שבמהלך חיי העבודה יהיה קשה יותר לבוגרינו (המהנדסים וההנדסאים) להתגבר על התפיסות השגויות שהשתרשו בהם, ללא עזרה חיצונית. אשר על כן, עזרתנו לסטודנטים בהתגברות על תפיסותיהם השגויות במהלך לימודיהם חשובה ביותר. באופן זה נתרום לבגרותם המקצועית של תלמידינו ובכך נעזור לקידום הקריירה המקצועית העתידית שלהם.

השימוש בסימולציה מועיל בהחלט למהנדסים וסטודנטים בבואם לבצע תכנ הנדסי, או לצורך אימות פעולה תקינה של מעגל אלקטרוני. עם זאת, יש לזכור שמעגלים אינם פועלים בסימולציה בדיוק באותה הדרך שהם פועלים במציאות.

במאמר זה מוצגות דוגמאות המדגימות את הסכנה הפוטנציאלית ליצירת תפיסות שגויות בעקבות שימוש בסימולציה. במחקר שתוצאותיו מובאות כאן, רואיינו שלושה מרצים ושנים עשר סטודנטים, כמו כן נערכו תצפיות על סטודנטים בעת ביצוע תכנ הנדסי תוך שימוש בסימולציות. התוצאות

מראות כי שימוש בסימולציות בלבד, ללא יישום בעולם האמיתי, יכול לטעת בסטודנט את ההבנה (השגויה) שתוצאות הסימולציה מייצגות בשלמות גם את מה שקורה בחיים עצמם. השגיאות הנרכשות בדרך זאת מסוכנות במיוחד שכן למידה מסוג זה, שבה הסטודנט מבצע סימולציות, הנה למידה פעילה המאופיינת ביצירת מידע בלתי שביר במוחו של הלומד. כך יוצא שכרו של הלומד בהפסדו, כלומר הסטודנט לומד מצוין משהו שאינו נכון ורוכש תפיסה שגויה (misconception).

## מבוא

הרחבת הנגישות להשכלה הגבוהה, המאפיינת את שני העשורים האחרונים, הביאה לתחרות גוברת בין המכללות האקדמיות, על קבלתם של סטודנטים בעלי הישגים גבוהים. כפועל יוצא מכך גדלה השונות בין הסטודנטים, במובנים של יכולות לימודיות ומטען ידע קודם. הרחבת השונות בין יכולות הסטודנטים כשהיא מלווה גם באי הבנות ותפיסות שגויות מחייהם הקודמים של הסטודנטים ומרעיונות אינטואיטיביים שצברו במהלך השנים, מציבות את מחנכי המהנדסים בחזית המערכה כנגד פרשנויות בלתי מדויקות של הסטודנטים כלפי רעיונות מדעיים הנדסיים. מורי ההנדסה נדרשים לעזור לסטודנטים להגיע להבנה מדויקת של הנושאים הנלמדים. לכן, קיימת חשיבות רבה במיוחד למציאת דרכים פדגוגיות שתמנענה קשיים עתידיים

מהמהנדסים הצעירים אחרי עזיבתם את כתלי המוסד האקדמי.

מאמר זה מציג תוצאות מחקר שמטרתו לבדוק באילו דרכים, סטודנטים להנדסת חשמל ואלקטרוניקה, מביאים לידי ביטוי אי הבנות ותפיסות שגויות הנובעות משימוש בסימולציות ובכך לתרום לידע הקיים בתחום הוראת החשמל והאלקטרוניקה.

### סקר ספרות

הטענה שאי הבנות במסגרת של תכן הנדסי או במסגרת חשיבה מערכתית, מאפיינות את מרבית תחומי ההנדסה הינה טענה מבוססת היטב. בהמשך מובאים סימוכין לטענה זאת, מהספרות המחקרית בתחום הלמידה סביב פרויקטים ומתחום החשיבה ההנדסית.

### הגדרת המושג תפיסה שגויה ושורשי היווצרותה

על פי הגישה הקלסית המתייחסת לשגיאות ותפיסות שגויות [1], התלמיד מגיע לכתה עם תיאוריות קודמות המתבססות על חיי היום יום ונסמכות על תפיסות אינטואיטיביות. השגיאות העקביות בחשיבה הן תוצאה של תפיסות אלו [2]. קיימות הגדרות רבות למושג תפיסה שגויה. למשל, Cromley & Mislevy טוענים שישנם רעיונות שנוצרו מתוך ניסיונו הקודם של הסטודנט המביא אותם אתו לכתה. רעיונות אלו, שלעיתים קרובות הינם רעיונות הנמצאים בסתירה לרעיונות מדעיים, הנם רעיונות קשים לשינוי המונעים הבנה נכונה של הרעיונות המדעיים [3].

המושג הנפוץ ביותר לידע קודם של הסטודנט – תפיסה שגויה – מדגיש את האופי השגוי שיש לידע מוקדם זה. עם זאת ישנם בספרות גם שמות אחרים המתייחסים לאותה התכונה, כגון: תפיסה אלטרנטיבית, תפיסה קדומה, או אמונה נאיבית. ההגדרות השונות משקפות את התייחסות החוקרים השונים לתכונות הידע הקודם של הסטודנט והקשר של ידע זה אל תפיסת המומחים הנכונה (תפיסת המומחים) [4]. חוקרים לעיתים משתמשים בשמות כגון: ידע פרימיטיבי (p-prims), תפיסה נאיבית (naïve conceptions) [5], אינטואיציה [6], או ידע נאיבי [7]. גם אם לא נגיע להסכמה לגבי ההגדרה הנכונה, ניתן להסכים שכל המושגים הנ"ל מתייחסים לידע מוקדם, שאינו מתאים ואולי אף סותר את הידע הנלמד על ידי הסטודנט כרגע. כתוצאה מכך נוצר קונפליקט קוגניטיבי המצריך שינוי תפיסתי (conceptual change).

### תפיסות שגויות בחינוך מדעי הנדסי

מחקרם של Smith, diSessa and Roschelle [4] מציג כיוונים עיקריים של המחקר החינוכי בנושא תפיסות שגויות, שנערכו במהלך 20 השנים האחרונות. מרבית המחקרים בתחום זה עוסקים בזיהוי תפיסות שגויות במספר תחומים של המדע והטכנולוגיה. כדוגמה נציין תחומים בהם נחקרו בהרחבה התפיסות השגויות: מכניקה קלסית [5-8], מכניקה קוונטית [9], תורת האור [10], השראה מגנטית [11], ציפה ושקיעה [12]. באתר האינטרנט של אוניברסיטת דאלאס ניתן למצוא מדריך

שהשימוש בסימולציות יכול גם להוות מקור ליצירת תפיסות שגויות.

### מתודולוגיית המחקר

מטרתנו במחקר זה הייתה לנסות להבין דרכי חשיבה של סטודנטים, לכן בחרנו במתודולוגיית מחקר איכותנית תיאורית המתאימה למקרים כגון זה. כלי המחקר בהם נעשה שימוש הם ראיונות עומק פתוחים עם מרצים וסטודנטים, תצפיות על פעילות סטודנטים המבצעים פרויקטים קטנים במעבדה (הפעילות צולמה בווידאו) וניתוח דוחות של הסטודנטים. אוכלוסיית המחקר כוללת שלושה מרצים המנחים סטודנטים בפעילות מעבדתית על פרויקטים קטנים ו 12 סטודנטים הלומדים לקראת התואר BSc בהנדסת חשמל ואלקטרוניקה, שביצעו פרויקטים במסגרת המעבדה לאלקטרוניקה ספרתית. כל המידע שנאסף קודד, על מנת לשמור על אתיקה מחקרית, באופן הבא: שנים עשר הסטודנטים קיבלו את הקודים S1 – S12 ושלושת המרצים קיבלו את הקודים L1 – L3.

ממצאים

הסטודנטים ביצעו סימולציות של מעגלים ספרתיים באמצעות סימולציית Multisim. זוהי סימולציה המדמה מעבדת אלקטרוניקה ומאפשרת למשתמש לבחור מכשירי מדידה וירטואליים ורכיבים המוגדרים כרכיבים וירטואליים או רכיבים המוגדרים "אמתיים". לשימוש בסימולציה ישנם יתרונות בלתי מבוטלים כגון: קלות השימוש, פשטות בבניית מעגלים ואיתור תקלות במעגלים אלקטרוניים, תצוגה צבעונית וברורה של תוצאות הניסוי ועוד. למרות זאת, קיימים לסימולציה גם

להרחבת ההבנה התפיסתית (conceptual understanding) הכולל רשימת תפיסות קדומות ותפיסות שגויות בכל תחומי הפיזיקה [13]. כמו כן, קיים דוח מחקר על תפיסות שגויות של סטודנטים באחד עשר תחומים של כימיה [14]. לעומת זאת, המחקר על תפיסות שגויות בתחומי ההנדסה פחות מתקדם [15]. מה שכבר קיים עוסק בדרך כלל בזיהוי תפיסות שגויות פרטניות. לדוגמה: הצגת תפיסות שגויות של יחידים בהקשר למעגלים חשמליים [16], או הצגת אי הבנת המושג "תגובת תדר" של מעגל (מתחום עיבוד האותות) [16]. קיים גם דיווח של קבוצת חוקרים מתחום המערכות הספרתיות, על תפיסות שגויות הקשורות לדלגלג (flip-flop) [17], תפיסות שגויות הקשורות למעגלים משולבים [18] ותפיסות שגויות הקשורות באופן הייצוג של מספרים [19].

### תפיסות שגויות בסימולציות

השימוש בסימולציות כדי לסייע בלימודי סטטיסטיקה נחקר ב [20], שם נמצא שימוש בכלי סימולציה עזר לתקן תפיסות שגויות של סטודנטים ותרום להרחבת הבנתם את הנושא הנלמד. עם זאת, החוקרים מודים שאין זה כך עבור כל הלומדים. ב [21] נחקר השימוש בסימולציות ממוחשבות על מנת לתקן תפיסות שגויות ולשפר את הלמידה של עקרונות הנדסיים בתחומי העברת חום וזרימת נוזלים.

המחקרים הנ"ל עסקו בתיאור יתרונות של השימוש בסימולציות. במאמר הנוכחי אנו מביאים מספר דוגמאות המראות

חסרונות. למשל ישנם רכיבים המתפקדים פונקציונלית מבלי לחברם לספק כח ואדמה, בניגוד גמור למה שקיים במציאות. כתוצאה משימוש ברכיבים אלו יכולה להיווצר תפיסה שגויה דרמטית. הלומד עשוי לחשוב שאין צורך בחיבור מתחי אספקה, כפי שמעיד הציטוט הבא, הלקוח מתוך שיחה שבין סטודנט למרצה:

הסטודנט S1 ביקש את עזרת המרצה: "זה לא עובד. אני לא יודע למה"

המרצה L1: "האם בדקת את מתחי האספקה?"

S1: "למה? האם זה חשוב?"

L1: בוודאי שזה חשוב. ללא מתחי אספקה המעגל לא עובד."

הציטוט למעלה מהווה דוגמה לכך שסטודנט באמת האמין שמעגל אלקטרוני יכול לפעול מבלי לקבל מתחי אספקה. דוגמה אחרת מתייחסת לבעיית המבוא הלא מוגדר של שער לוגי (תופעה המוכרת בלשון העם כ"רגל באוויר"). כאשר משתמשים בשערים לוגיים ממשפחת TTL (Transistor Transistor Logic), ישנה חובה להגדיר את הערך הלוגי ('0' או '1') של כל כניסות הרכיב, אחרת השער הלוגי יכול לפעול באופן שגוי במקרים מסוימים. הסימולציה מתייחסת לשער לוגי עם כניסה לא מחוברת כאל כניסה עם '0', וכך נולדת לה תפיסה שגויה. המקרה הבא מציג שני סטודנטים (S2,S3) שמימשו את מעגל הפרויקט שלהם באמצעות רכיבים אמתיים (לא בסימולציה). המעגל כלל שער OR עם שלוש כניסות שרק שתיים מהן היו מחוברות לרמות לוגיות מוגדרות ואילו הכניסה השלישית של השער לא הייתה מחוברת לרמה לוגית כלשהי (רגל באוויר).

במוצא השער נמדד '1' באופן קבוע ללא תלות בצירופי הכניסות. בדיוק אותו המעגל, עם אותם החיבורים, תפקד כראוי כאשר הסטודנטים בדקו אותו בסימולציה, אך לא כך כשהשתמשו ברכיבים מהעולם האמיתי. הסטודנטים ביקשו את עזרת המרצה (L2). להלן ציטוט שיחתם:

S2: "זה לא עובד." S3: "תראי המוצא תמיד '1' למרות שאנו קובעים '0' בכניסות."

L2: "מהי הבעיה לדעתכם?"

S2 ו S3 ביחד: "שער ה OR מקולקל...אנו חייבים להחליפו."

למרות תשובתם השגויה, המרצה לא מנעה מהם מלהחליף את הרכיב ברכיב חדש. פעולה שלא הביאה לפתרון הבעיה, כמובן.

L2: "נו, מה אתם חושבים עכשיו?"

S2 ו S3 יחדיו: "לא יודעים."

L2: "כמה כניסות יש לשער ה OR?"

S2 ו S3: "שלוש."

L2: "בכמה מהן אתם משתמשים?"

S2 ו S3: "בשתיים."

השיחה התמשכה עוד ועוד, אך הסטודנטים לא השתמשו ברמזים שהמרצה סיפקה להם, עד שבסופו של דבר המרצה אמרה, "אתם השארתם את הכניסה השלישית בלתי מחוברת. זה אסור, במיוחד בשערי TTL."

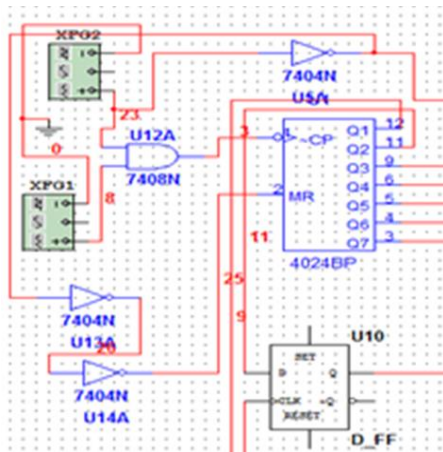
S3: "אבל עשינו אותו הדבר בסימולציה ואז זה כן עבד."

כפי שניתן לראות מהדוגמה למעלה, היה קשה לסטודנטים להאמין שכניסה פתוחה (בלתי מחוברת) יכולה להשפיע על עבודת השער הלוגי. באופן זה נוצרות תפיסות שגויות, המאופיינות בכך שהן קשות לשינוי.

רמז, שאלה המרצה L2 את הסטודנטית S4:

”האם ידוע לך על הרמות הלוגיות השונות של משפחת TTL ומשפחת CMOS?”  
S4 השיבה: ”כן. למדתי על זה. למדתי על כך באלקטרוניקה ספרתית אבל אני לא חושבת שזה חשוב. הרמות הלוגיות השונות לא מדאיגות אותי. אני לא פגשתי בעיה כזאת.”

בעיה זאת לא הדאיגה את הסטודנטית גם קודם לכן כאשר בדקה את אותו המעגל



בסימולציה Multisim.

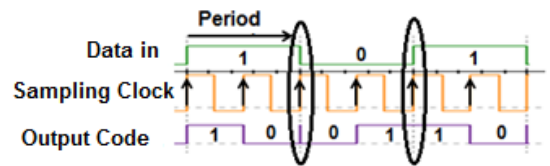
**איור 1: תיאור חלקי של ממיר תדר למתח המכיל עירוב של שערי TTL (מסוג 7404) עם שערי CMOS (4024).**

דוגמה נוספת של מעגל אלקטרוני הפועל באופן תקין בסימולציה ובכל זאת אינו פועל נכון כאשר מרכיבים מעגל עם רכיבים ממשיים, מתוארת בהמשך. תזמון פעולתם של מעגלים אלקטרוניים הינו אחד הנושאים החשובים ביותר. לדוגמה, לדלגלג מסוג DFF ישנם שני מבואות: מבוא מידע (D) ומבוא השעון (CLK). עבור DFF המדורבן בעליית השעון (המידע במבוא D משפיע על מוצא הדלגלג בזמן עליית אות

כאשר משתמשים ברכיבים ממשפחות לוגיות שונות במעגל לוגי משותף, קיימת דרישת תאום בין הרמות הלוגיות של רכיבי המשפחות השונות. לדוגמה, הרמה הלוגית '1' מיוצגת באמצעות מתח בתחום  $2.7V-5V$ , במוצא השערים ממשפחת רכיבי LS-TTL (Low-power Schottky TTL), לעומת זאת במבוא שערי המשפחה הלוגית (Compatible Metal Oxide Semiconductor) מיוצגת הרמה הלוגית '1' באמצעות מתח גדול מ  $3.15V$ . לכן, במקרה שמחברים מוצא של שער TTL למבוא שער CMOS, קיימת אפשרות שאי התאום בין הרמות יגרום תקלה בעבודת המעגל. למרות זאת, סימולציה Multisim מאפשרת חיבור רכיבים ממשפחות לוגיות שונות מבלי שתגרום תקלה בפעולת המעגל.

דוגמה לתקלה מסוג זה הופיעה בפרויקט קטן של הסטודנטים S4 ו S5 שבצעו שני פרויקטים משלימים זה לזה. S5 תכנן מעגל ממיר מתח לתדר (Volt to Frequency converter) ואילו S4 תכננה מעגל ממיר תדר למתח (Frequency to Voltage converter). הצגת פעולת המעגלים נעשתה במשותף כאשר מוצא המעגל האחד חובר למבוא המעגל האחר, כך ניתן היה להשוות בקלות את המבוא והמוצא של שני המעגלים. S4 השתמשה בשער AND ובשער NOT ממשפחת TTL ומונה בינארי ממשפחת CMOS, כפי שניתן לראות באיור 1. כאשר חיברה את המעגל במציאות, המעגל לא פעל והסטודנטית ביקשה את עזרת המרצה. במטרה לספק

השעון), אות המבוא (Data in) חייב להיות יציב זמן קצר לפני עליית השעון בהתאם למוגדר בהוראות היצרן (זמן זה נקרא  $t_{setup}$ ). אם אות המבוא משתנה בתוך פרק זמן זה ( $t_{setup}$ ), הדלגלג יכול שלא להגיב לשינוי במבוא. הבעיה העיקרית של הסימולציה בעניין זה היא שזמני ההשהיה המוגדרים על ידי הסימולציה אינם מתאימים להתנהגותם רכיבים מציאותיים. בעניין זה קיימות שתי בעיות: ישנם רכיבים המוגדרים אידיאליים – ללא זמני השהייה, קיימים גם רכיבים המוגדרים "אמתיים" ולהם זמני השהייה אחידים – בניגוד לרכיבים הממשיים שזמני ההשהיה שלהם אינם אחידים אלא בעלי



פיזור אקראי מסוים.

## איור 2: תרשים זמנים במקודד של הסטודנט S6

דוגמה לבעיה מסוג זה הופיעה בפרויקט של S6 שנדרש לתכנן מקודד לצופן מנצ'סטר (Manchester). בין יתר הרכיבים בהם השתמש הסטודנט היה גם DFF. נתמקד בבעיית התזמון, המתוארת באיור 2, ונתעלם מכך שהקוד המוצג אינו נכון כלל. שתי השגיאות בפעילות המעגל מסומנות בעזרת האליפסות השחורות שבאיור 2. במקרים אלו, מבוא ה DFF השתנה בדיוק בזמן עליית אות השעון. במקרה הראשון נוצר פולס צר מאוד במוצא, בעוד שבמקרה השני אות המבוא אינו משפיע כלל על המוצא. בכל אופן, הסימולציה מאפשרת

את תגובת ה DFF לאות מבוא גם אם הוא משתנה באותו הזמן עם עליית השעון. כאשר נשאל הסטודנט על ידי המרצה L3, הסביר S6 את התופעה באופן הבא:

S6: "אני דוגם מידע בכל עליית שעון. כאן, בנקודה זאת (מצביע על אליפסה שמאלית) השעון רואה מידע '0' לכן במוצא יש '0'; וכאן בנקודה זאת (מצביע על אליפסה ימנית) השעון רואה מידע '1' לכן במוצא יש '1'. המעגל עובד, זאת עובדה".

המקרה הנ"ל מדגים יותר מאשר תפיסה שגויה אחת. ראשית, S6 התעלם מההבדל בתגובות שבין המקרה הראשון והמקרה השני שבאיור 2. בנוסף, זמן ההשהיה הוא בסדר גודל של ננו-שניות בעוד שזמני האותות המתוארים באיור 2 גדולים פי עשרות אלפים. לכן, כדי להבחין בתופעה נדרש הסטודנט לשנות את קנה המידה של המדידה כך שיוכל להבחין בזמני ההשהיה, לפני שהוא מגיע למסקנה כלשהי.

## מסקנות

ישנה אמרה מפורסמת המיוחסת לקרל מרקס, "הפרקטיקה היא הקריטריון הבלעדי לאמת". אמרה זאת נראית מאוד מתאימה למאמר המוצג כאן, שבו אנו מנסים להקנות פרופורציה מתאימה לחשיבות השימוש בסימולציות, יחד עם הסכנות הנלוות לשימוש בסימולציות בהוראת ההנדסה. לסימולציות יש יתרונות רבים כגון הקלות שבבניית מעגלים אלקטרוניים ואיתור התקלות שבהם, תצוגה ברורה ונעימה לעין של תוצאות הניסוי, היכולת לבדוק מצבים קיצוניים שאינם ניתנים למימוש במעגלים אמתיים. אין זה מקרה ששימוש בסימולציה הנו

אשר התעקש לטעון שהמעגל פועל כראוי, למרות שלא כך היה. מספר חסרונות של שימוש בסימולציות העשויים לגרום להתפתחות תפיסות שגויות או לחיזוק תפיסות שגויות קיימות, אצל הסטודנט, הוצגו במאמר זה. לנוכח מגבלות אלו אנו ממליצים בפני חברינו מחנכי הדור ההנדסי הבא, שלא להסתפק בסימולציות בלבד, אלא להוסיף לכך גם התנסויות מהעולם המציאותי. כמו כן, אנו טוענים כי זהו תפקיד המורה להאיר את עיני התלמידים באשר להבדלים שבין הסימולציות והעולם המציאותי.

השלב ההתחלתי של תכן הנדסי בתעשייה. עם זאת, יש לזכור שהתוצאות היחידות הנחשבות באמת הן אלו המתקבלות בעולם האמתי. במאמר זה הצגנו דוגמאות המראות שסטודנטים אשר הקדימו שימוש בסימולציה לתכנון הפרויקטים שלהם, כשלו במימוש אותם המעגלים כשהשתמשו ברכיבים אמתיים בעולם המעשי. ההבנות שרכשו כשהשתמשו בסימולציות חסמו את יכולתם להתגבר על התפיסות השגויות (misconceptions) שהוטבעו בהם באותה ההזדמנות. דוגמה קיצונית היא זאת של S6

**מחברים:** די"ר ניסים סבאג, גבי אילנה טרוצקובסקי מכללת אורט בראודה, כרמיאל.

#### מקורות

1. L. B. Resnick, "Mathematics and Science Learning: A New Conception", *Science*, Vol. 220, no. 4596, pp. 477-478, April 1983.
2. H. Radatz, "Students' Errors in Mathematical Learning Process: A Survey", *For the learning of mathematics*, Vol. 1, no. 1, pp. 16-20, July 1980.
3. J. Cromley, and R. J. Mislevy, "Task templates based on misconception research", (PADI Technical Report 6). Menlo Park, CA: SRI International, 2005
4. J. P. Smith, A. A. diSessa, and J. Roschelle, "Misconception reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition", *The Journal of the Learning Science*, Vol. 3, pp. 115-163, 1993.
5. M. Reiner, J. D. Slotta, M.T.H. Chi, and L. B. Resnick, "Naive Physics Reasoning: A Commitment to Substance-Based Conceptions", *Cognition and Instruction*, Vol. 18, no. 1, pp. 1-35. 2000.
6. B. Sherin, "Common sense clarified: The role of intuitive knowledge in physics problem solving", *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 43, no. 6, pp. 535-555, 2006.
7. J. L. Newcomer, and P. S. Steif, "Student Thinking about Static Equilibrium: Insights from Written Explanations to a Concept Question", *Journal of Engineering Education*, Vol. 97, no. 4, pp. 481-490, 2008.
8. T. Martín-Blas, L. Seidel, and A. Serrano-Fernández, "Enhancing Force Concept Inventory diagnostics to identify dominant misconceptions in first-year engineering physics", *European Journal of Engineering Education*, Vol. 35, no. 6, pp. 597-606, 2010.



9. D. F. Styer, "Misconceptions regarding quantum mechanics", *American Journal of Physics*, Vol. 64, pp. 31-34, 1996.
10. M. Yalcin, S. Altun, U. Turgut, and F. Aggul, "First year Turkish science undergraduates' understandings and misconceptions of light", *Science and Education*, Vol. 18, pp. 1083-1093, 2009.
11. L. D. Allen, "An investigation into student understanding of magnetic induction", (Doctoral dissertation, The Ontario State University) 2001. Retrieved from: <http://www.per-central.org/items/detail.cfm?ID=3794>
12. Y. Yin, M. K. Tomita, and R. J. Shavelson, "Diagnosing and dealing with student misconceptions: Floating and sinking", *Science Scope*, April - May 2008. Retrieved from: [http://www.stanford.edu/dept/SUSE/SEAL/Reports\\_Papers/k12\\_papers/Yin%20Tomita%20Shavelson%20Diagnosing%20Stu%20Misconcept.pdf](http://www.stanford.edu/dept/SUSE/SEAL/Reports_Papers/k12_papers/Yin%20Tomita%20Shavelson%20Diagnosing%20Stu%20Misconcept.pdf)
13. University of Dallas, "Helping students learn physics better: Preconceptions and misconceptions, a guide to enhancing conceptual understanding", (2011). Retrieved from: [phys.udallas.edu/C3P/Preconceptions.pdf](http://phys.udallas.edu/C3P/Preconceptions.pdf).
14. V. Kind, "Beyond appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas", (2nd ed). 2004. Retrieved from [http://www.rsc.org/images/Misconceptions\\_update\\_tcm18-188603.pdf](http://www.rsc.org/images/Misconceptions_update_tcm18-188603.pdf)
15. T. Goris, and M. Dyrenfurth, "Students' misconceptions in science, technology, and engineering", *ASEE Illinois/Indiana Section Conference*, Purdue University, West Lafayette. April 2010. Retrieved from: <http://ilin.asee.org/Conference2010/Papers2010.html>.
16. S. Bull, T. J. Jackson, and M. J. Lancaster, "Students' interest in their misconceptions in first-year electrical circuits and mathematics courses", *International Journal of Electrical Engineering Education*, Vol. 47, no. 3, pp. 307-318, 2010.
17. G. L. Herman, C. Zilles, and M. C. Loui, "Flip-flops in students' conceptions of state", *39th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, San Antonio, TX. October 2009.
18. G. L. Herman, C. Zilles, and M. C. Loui, "Students' misconceptions about medium-scale integrated circuits", *IEEE Transactions on Education*, Vol. 54, no. 4, pp. 637-645, 2011.
19. G. L. Herman, C. Zilles, and M. C. Loui, "How do students misunderstand number representations?", *Computer Science Education*, Vol. 21, no. 3, pp. 289-312, 2011.
20. T. C. Liu, Y. C. Lin, Kinshuk, M. Chang, "Individual Differences in Learning with Simulation Tool: A Pilot Study", *8th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, pp. 501-503, 2008.
21. W. M. Clark, "Computer simulations to correct misconceptions in fluid flow and heat transfer fundamentals", *IEEE Frontiers in Education Conference*, October 2010.

# מורים מובילים לשינוי: התפתחות מקצועית של מורים לביוטכנולוגיה כאמצעי להטמעת למידה והוראה של ביואינפורמטיקה בשדה

יוסי מחלוף, רונית שינה, רחל סקאל, אוהד לבקוביץ, אילת אברהם, ענת ירדן

## הקדמה

לפי תפיסתנו של פולאן, למורים מקום מרכזי במערכת החינוך כ"סוכנים של שינוי" חינוכי וחברתי [1]. לשם כך, רצוי שיהיו להם שני מרכיבים חיוניים המשלימים זה את זה: חזון-להציב לעצמם תכלית ויעד חינוכי להביא לשיפור מתמיד בלמידה, תוך שהמורה מודע וקשוב לצרכי התלמידים; כלים ויכולת- פיתוח מיומנויות ואסטרטגיות הנדרשות להגשמת החזון. לדידו נדרשות 4 יכולות ליבה לשם הקניית היכולת (לשנות: א) הבניה של חזון אישי, ב) חקירה מתמשכת כמנוע פנימי להתחדשות ולמידה, ג) מומחיות שבסיסה הכשרה איכותית ראשונית שנרכשת לאורך התפתחות הקריירה ומובילה להבנה מעמיקה, ו-ד) שיתוף פעולה [1]. לפיכך, ולאור בסיס הידע והמיומנויות שיש להקנות למורים, הנוגעים להוראה משמעותית ושינוי התנאים המשפיעים על ההוראה, פולאן ועמיתיו בפקולטה לחינוך באוניברסיטת טורונטו גיבשו קריאה לבחינה של תכניות להכשרת מורים. בשנים האחרונות גוברת ההכרה כי למורים תפקיד מפתח באימוץ של רפורמות במערכת החינוך וביישומן. מחקרים מעידים כי ידע בתחום התוכן ומומחיות פדגוגית אינם הכרחיים כשלעצמם לשם יישום מוצלח של רפורמה בתוכנית הלימודים (להלן תה"ל) [2,3], וכי ישנן סיבות למכביר בגינן מורים אינם מיישמים רפורמות, סיבות הנעוצות במטרות ובהקשרים חיצוניים (תה"ל לדוגמא), פנימיים (בית הספר, חברה), ואישיים (מטרות אישיות, ידע, מיומנויות פדגוגיות) [4]. על תכניות להתפתחות מקצועית המלוות רפורמות חינוכיות להכיר, להתחשב ולתת מענה למגוון המטרות של המורים

וההקשרים בהם המורים מתפקדים, בכדי לאפשר שינוי אמיתי ויישום של רפורמות [5]. במאמר זה נתאר את השלבים המרכזיים בהתפתחות מקצועית של מורים מובילים כחלק מתהליך ההטמעה של למידה והוראה של ביואינפורמטיקה בתה"ל של המקצוע "מערכות ביוטכנולוגיות". התפתחות מקצועית זו התאפשרה הודות לשיתוף פעולה בין המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע והפיקוח על הוראת ביוטכנולוגיה במשרד החינוך. אחת מגולות הכותרת של ההתפתחות המקצועית הייתה השתלמות מורים ארצית לקראת שנה"ל תשע"ד, שהתקיימה במור-טק, מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים.

## שילוב למידה והוראה של ביואינפורמטיקה בתה"ל

הצורך בהכשרת מדעני המאה ה-21 הוביל לשינוי פרדיגמה בחינוך מדעי בכלל ובביוולוגי בפרט [6-9]. שינוי זה חותר לשקף תחומים חדשים וגישות מחקר מודרניות, ולמידה בדרך גילוי וחקר אגב התנסות ושימוש בכלי מחקר ובמאגרי מידע אותנטיים בהם עושים שימוש מדענים. מימוש השינוי חל ראשית באקדמיה, עת פותחו קורסים ותוכניות ואף תארים לסטודנטים באונברסטאות [10,11]. שינויים ועדכונים בתכניות הלימודים בביוולוגיה בחינוך העל-יסודי היוו זרז וחלחלו גם לתה"ל בבתי הספר. כך למשל, ניסיונות חלוציים הובילו לפיתוח כלים, סביבות למידה, משחקים ואף סיורים לשם הוראת ביואינפורמטיקה – ענף חדש ורב תחומי העוסק במחקר, פיתוח ויישום של מגוון כלים ממוחשבים וגישות חישוביות לשם ייצור, ארגון, אחסון, ניתוח או הצגה של מידע

## מורים מובילים לשינוי

שילוב מוצלח של נושא כה חדשני ומאתגר בתה"ל בביוטכנולוגיה תלוי ברצון וביכולת של מורים ללמד נושא זה מתוך הכרה בחשיבותו ובתרומתו לשיפור תהליכי למידה והוראה, לביסוס אוריינות מדעית, ולהגברת המוטיבציה.

### תכנית התפתחות מקצועית למורים מובילים

בשלב ראשון, בשנה"ל תשע"א פותחה במכון ויצמן למדע תכנית שנתית להתפתחות מקצועית של מורים, במסגרת המסלול לקידום יוזמות חינוכיות במסגרת תכנית רוטשילד-ויצמן למצינות בהוראת המדעים. רצינול התוכנית התבסס על קווי היסוד הבאים: (1) יש בכוחם של עיצוב ופיתוח של חומרי למידה והערכה לשמש ככוח מניע להתפתחות מקצועית של מורים ולשינוי בהוראת המדעים [31] (2) למורים מנוסים יש ידע ומיומנויות ייחודיות בעלי ערך רב [32] (3) המשך פיתוח של חומרי למידה והערכה הוא צורך מרכזי. החומרים המפותחים עשויים לזכות להכרה על ידי אנשי מקצוע (המורים המפתחים, מורים אחרים, מדריכים, מנחים, מפתחים בתחום) כתוצר משמעותי ובעל ערך. התוכנית השנתית הקנתה למורים שהשתתפו בה ידע ומיומנויות מתקדמים בתחום הדעת, היכרות מעמיקה עם תה"ל ועם הפדגוגיה ואסטרטגיות ההוראה הרלבנטיים, מיסדה את הקשרים עם מפתחים ועם מדענים, וכן אפשרה השתתפות בהתנסויות וחוויות שתרמו לבניית חזון אישי וזהות אישית של המורים כחיל החלוץ בהוראת ביואינפורמטיקה. הללו הובילו להכרה ולגיבוש זהות של המורים המשתתפים כמקדמי שינוי בחינוך המדעי [33].

אל התוכנית השנתית בתשע"א גויסו ארבעה מורים מובילים: ד"ר שמואל כהן, אוהד לבקוביץ, ענת לוי וד"ר רותי לנץ. בשנה זו, המורים היו מעורבים בעיצובה של סביבת הלמידה ושל חלק ממרכיביה, בפיתוח של חומרי למידה ועזרי הוראה, במיפוי ידע והרחבת המדריך למורה. הללו נטעו במורים תחושה של בעלות על סביבת הלמידה ומרכיביה,

ביוולוגי (כולל גם מידע רפואי, התנהגותי ובריאותי) – כחלק מהוראת מדעי החיים וביוטכנולוגיה בבתי ספר ברחבי העולם [22-11]. בנוסף, נקבעו גם הנחיות לפיתוח [23] והוראה [24,25] של קורסים בביואינפורמטיקה, שניתנים להחלה ויישום ברמת בתי הספר התיכוניים. שילוב הוראה ולמידה של ביואינפורמטיקה בתוכניות לימודים מדעיות בבתי ספר תיכוניים, טומן בחובו קשיים ואתגרים לצד יתרונות והזדמנויות, הן מבחינת התשתית, תה"ל והמשאבים, והן מבחינת המנהלים, המורים והתלמידים [13,26].

בישראל, מובילי המקצוע "מערכות ביוטכנולוגיות" הקדימו להכיר במעלות הגלומות בהוראת ביואינפורמטיקה. נושא זה מאפשר שילוב מדע חדשני ועדכני כהווייתו בין כותלי בית הספר, בדרך של למידה פעילה (אישית ושיתופית) בסביבה מתוקשבת ועתירת טכנולוגיה ומידע, בהקשרים של העולם האמתי הקרובים ללב התלמידים, בדרך של פתרון בעיות, תוך שימוש במיומנויות המאה ה-21. ייחודה של הוראת ביואינפורמטיקה בתיכוניים בישראל, בכך שאין מדובר ביוזמה פרטית של מורה בודד, או בפעילות העשרה חוץ בית-ספרית, אלא בתוכנית לימודים מובנית, בעלת רצינול, סטנדרטים ומטרות, אשר מלווה בחומרי למידה וכלי הערכה שפותחו בהתבסס על מחקרים אקדמיים. סביבת הלמידה "ביואינפורמטיקה בשירות הביוטכנולוגיה" פותחה במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע בשיתוף עם הפיקוח על הוראת הביוטכנולוגיה במשרד החינוך, [13,27,28]. סביבת הלמידה שולבה תחילה בלימודי המעבדה לביוטכנולוגיה, כחלק מן החקר המתוקשב ולצד החקר הניסויי-מעשי [29], וכיום מהווה פרק חובה בפני עצמו [30]. הוראה ולמידה של ביואינפורמטיקה משלימים ותורמים להבנתם והטמעתם של תכנים, מושגים, עקרונות ושיטות הנלמדים במסגרת פרקים אחרים בתה"ל, כמו למשל "הנדסה גנטית", תוך שימוש במיומנויות חקר מגוונות ותהליכי חשיבה מסדר גבוה.

בחלקה האחרון של התוכנית, המורות תכננו והנחו השתלמות מורים ארצית (ראו מטה).

### **קורס מטעם המכון האירופאי לביואינפורמטיקה**

ארבעה מהמורים שהשתתפו בתוכניות להתפתחות מקצועית במכון ויצמן למדע (אוהד, גינט, רונית ורחל) השתתפו בקורס בין-לאומי ייחודי ויוקרתי בקיימברידג', אנגליה. הקורס ניתן מטעם המכון האירופאי לביואינפורמטיקה (EBI) והמעבדה האירופאית לביולוגיה מולקולרית (EMBL), אך 3 ימים (25-27.11.12) ובו השתתפו 27 מורים ממדינות האיחוד האירופאי. מטרת הקורס הייתה לקדם את הוראת הביואינפורמטיקה בבתי ספר תיכוניים, תוך הקניית בסיס ידע בביואינפורמטיקה, היכרות עם משאבים חומרי למידה ונושאים שניתן לשלבם בהוראת המדעים בתיכון, וכן יצירתה של קהילת מורים, מקומית ובינ"ל, המשתפת בחומרים, בתובנות מההוראה בשטח וכו' [35]. תרומת הכנס הייתה רבה להתפתחות המקצועית של המורים ולהעצמתם, להגברת תחושת המסוגלות שלהם, והביטחון ביכולתם לקדם יוזמות בתחום במערכת החינוך בישראל [36].

קורסים מעין אלו רואים בדרך כלל במורים צינור להעברת מידע ממומחים בקורס אל תלמידים בכיתה ולמורים אחרים. לעומת זאת, בתוכנית להתפתחות מקצועית זו, המורים שותפים מלאים לגיבוש המטרות, לתכנון ולפיתוח, וכן ליישום ולגיבוש דרכי ההערכה. כך לדוגמה, משחקים ללימוד עקרונות ביואינפורמטיקה, כגון אינטגרציה של מידע ביולוגי [20], אליהם נחשפו המורים בקורס, היוו בסיס לעיצוב ופיתוח של משחקים לימודיים על ידי המורים, אגב התאמה לתה"ל, לרקע ולידע של תלמידי כיתות י"א, למטרות פדגוגיות ייחודיות, לתרבות ולשפה. כמו כן, ביוזמת המורים המובילים פותחו חומרי עזר ומדריך לשימוש במשחקים, לשם הנחיה ותמיכה במורים, שאינם מורגלים בשימוש במשחקים לימודיים כאלו.

חיזקו את תחושת השייכות לצוות הפיתוח, ואת תחושת המסוגלות והמובילות שלהם. גולת הכותרת של עשייתם הייתה עיצוב ופיתוח של כלי הערכה ייחודי להערכת הלמידה - כלי שהיווה מודל לפיתוח בחינת הבגרות הראשונה בביואינפורמטיקה (ואלו שבאו אחריה). מניתוח כלי הערכה שפותח ע"י המורים עולה שהוא עומד בהלימה עם מטרות תה"ל בביואינפורמטיקה, מקושר לתה"ל בביוטכנולוגיה, ומכיל מאפיינים של מחקר מדעי אותנטי ועכשווי. מאפיינים אלו כוללים שימוש במיומנויות מגוונות, בידע תוכני ביולוגי וביואינפורמטי, ובחשיבה אנליטית אסטרטגית לשילוב כלים ביואינפורמטיים כחלק ממחקר המשלב ניסויים הנועד לפתור בעיה [34]. נוסף על כך, המורים שימשו כתומכי הוראה בהשתלמות להכשרת מורים להוראת הביואינפורמטיקה שהתקיימה במכון ויצמן למדע.

בשלב שני, בשנה"ל תשע"ב ותשע"ג השתתפו בתוכנית במכון ויצמן למדע שלוש מורות: רחל סקאל, ד"ר גינט שיבאן-בשארה וד"ר רונית שינה. העקרונות המעצבים ודרכי הפעולה של התוכנית להתפתחות מקצועית היו דומים לאלו שתוארו לעיל, אלא שהמטרות הוגדרו בהתאם לצרכים ולקולות שעלו מן השטח. בכדי לאפשר הוראה ספירלית ומדורגת של ביואינפורמטיקה, המורות שהשתתפו בתוכנית הגדירו והתמקדו בדרכי הפעולה הבאות: פיתוח פעילויות חקר מתוקשבות קצרות לתלמידי כיתות י"א, שמטרתן רכישת עקרונות פעולה ואפשרויות שימוש בכלי ביואינפורמטי אחד, וכן פיתוח משחקים לימודיים (ראו מטה) שמאפשרים להמחיש באופן ידידותי ופשוט את תרומת הכלים הביואינפורמטיים ודרך פעולתם גם לתלמידי כיתות י"א החסרים רקע בנושא, ולעורר בקרבם מוטיבציה ועניין.

בנוסף, המורות הרחיבו והעמיקו את מגוון חומרי הלמידה ועזרי ההוראה, ואף כתבו חומרים להוראת הנושא בקרב תלמידים דוברי ערבית.

## השתלמות מורים ארצית

דיון ברצפי הוראה והצגת מגוון עזרי הוראה, וזאת בהתאם לרצף ההוראה, תפיסת המורה, אופי הכתה, אופי הפעילות, וניהול הלמידה.

בשלב השני, המורים המשתלמים התוודעו למרכיבי ה"מדריך למורה" המצוי בסביבת הלמידה, ולאפשרויות לשימוש מושכל בו בהתאם לצרכי המורה. מרכיבים רבים ב"מדריך למורה" עוצבו ופותחו על ידי מורים המנחים ולמען המורים. ה"מדריך למורה" מספק למורה סביבה בטוחה ותומכת העשירה בפיגומים ובהמלצות להוראה, הן לשם הפחתת החשש מפני הוראת הנושא, והן לשם ביסוס הידע הביואינפורמטי-מדעי והמיומנויות הפדגוגיות, ולשם גיוון והעשרת דרכי הלמידה. המדריך כולל: (1) מגוון חומרי עזר להוראה-מערכים ובהם ניתוח של הפעילויות בראייה קוריקולרית של מיפויי ידע ומיומנויות, רצפי הוראה, מצגות להוראה בכיתה, ומבט-על משווה על הכלים הביואינפורמטיים בהם נעשה שימוש בסביבת הלמידה. בפעילויות עצמן משולבות תשובות מבוארות ומנומקות לכל השאלות, הנחיות לקיום דיונים כיתתיים, אגב התייחסות לקשיי תלמידים ולתפיסות שגויות, וכן המלצות וקישורים לתה"ל, והפניות להרחבה והעשרה; (2) ממשק למורה לניהול למידה (LMS) - המאפשר ניהול ומעקב אחר תהליכי למידה וביצועי התלמידים, ברמת הכיתה והתלמיד, בחתך הפעילות כולה והשאלה הבודדת. שימוש מושכל בממשק מאפשר למורה לעקוב אחר קצב הלימוד, לאתר קשיים של תלמידים, לתת לקשיים מענה בזמן אמת, לספק לתלמידים משוב על למידתם, ולנהל את השיעור (ואלו הבאים אחריו) בהתבסס על מידע בזמן אמת; (3) פורום - המאפשר למורים לשאול שאלות, לשתף בחומרי למידה שכתבו ומניסיונם בשטח ועוד.

השלב השלישי הוקדש להתנסות במגוון כלי ההערכה להוראת ביואינפורמטיקה, החל בכלים לתרגול המצויים בסביבת הלמידה ועד בחינות מתכונת ובגרות. הבחינות נותחו בדקדקנות אל מול

מרכיב מרכזי בהטמעה ובהפצה של ביואינפורמטיקה הוא יישום של תכנית להכשרת מורים לביואינפורמטיקה באמצעות השתלמויות ארציות. בשנה"ל תשע"ג התקיימה השתלמות מורים ארצית במור-טק - מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים בטכניון, אשר הונחתה ע"י המורות בשלב השני של התוכנית להתפתחות מקצועית.

בדומה לתוכנית להתפתחות מקצועית של המורות המנחות, גם תכנון ההשתלמות התבסס על כך שהכשרת מורים, בדומה ללמידה בקרב תלמידים, נשענת על שילוב שתי נקודות מבט תיאורטיות, זו של למידה קונסטרוקטיביסטית (constructivist learning) המעודדת למידה פעילה המזמנת אפשרויות להבניית ידע על בסיס ידע קודם [37], וזו של למידה ממוצבת (situated learning) הרואה בלמידה תהליך של חִבְרוּת לתוך קהילת מומחים באמצעות שימוש בפעילויות אותנטיות [38]. כמו כן, התכנית להתפתחות מקצועית של מורים רואה בהם לומדים בוגרים פעילים, משלבת פרקטיקות של מחקר לתוך פרקטיקות של הוראה בכיתה אגב התמקדות הן בתפקיד וצרכי המורה והן בתהליכי למידה וחשיבה של תלמידים, ומכוונת ליצירת קהילות של מורים לומדים [39-40].

בהתאם לכך, ההשתלמות כללה מספר שלבים: בשלב הראשון המשתתפים התנסו בביצוע הפעילויות מסביבת הלמידה תוך שהם מתוודעים לכלים הביואינפורמטיים ולדרכי השימוש בהם, ולמדו על השיקולים בבחירת כלים ביואינפורמטיים, אופן שילובם ותרומתם למחקר. חוויית הלמידה הפעילה של המורים המשתלמים, לרוב בזוגות, אפשרה להם להזדהות עם חוויית הלמידה של התלמידים, לגבש עמדה לגבי למידה שיתופית ואופן אימוצה והפעלתה, לעמוד על הקשיים הצפויים, ולתכנן אסטרטגיות הוראה המתמודדות ונותנות מענה לקשיים. שלב זה לוה בהדגמת מגוון אסטרטגיות וגישות הוראה, תוך

### **קהילות מורים (לא מועדון סגור)**

למורים בוגרי התוכניות להתפתחות מקצועית במכון ויצמן למדע מקום חשוב ומרכזי בהטמעה של ביודאינפורמטיקה בתה"ל. מה שהתחיל ביוזמות פרטיות שלהם להפצת הנושא בקרב מורי המגמה בבית ספרם ובקרבתו, נמשך בתמיכה אישית והנחיה למורים שהחלו בהוראת הביודאינפורמטיקה, ושיאו של התהליך בהנחיה של השתלמות מורים ארצית. חלק מן המורים המובילים, שהם למעשה מנחים, השתלב גם בצוותי חשיבה המיעצים למפמ"רית המקצוע על הוראת הנושא, וגם בתמיכה במורים המלמדים ובהפצת הנושא. המורים הללו, אפילו אם במידה שונה זה מזה, מהווים את הגרעין של קהילות מורים מקומיות ההולכות ומתגבשות, ותורמים מידיעותיהם, ניסיונם ותובנותיהם לאלו העושים את צעדיהם הראשונים בתחום.

### **אחרית דבר**

כחלק מקידום והטעמת הוראת הביודאינפורמטיקה בתוכנית הלימודים בביוטכנולוגיה, המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע הציעה מגוון תכניות וקורסים. חלקם פונים לכלל ציבורי מורי המגמה, דוגמת קורסים להכשרת מורים וימי עיון בנושאים בחזית המחקר הביודאינפורמטי. חלקם פונים למורים מובילים, דוגמת קורסים לפיתוח חומרי למידה, תכנית ייעודית ייחודית להתפתחות מקצועית למורים מובילים, ואף ליווי וסיוע בהשתתפות בקורס מטעם המכון האירופאי לביודאינפורמטיקה. באופן הדרגתי, המורים המובילים, בוגרי התוכניות השונות, תופסים את מקום המפתחים ומורי המורים בהנחיה בתוכניות הראשונות. לתהליך חשיבות רבה הן כחלק מהפצה והרחבת מעגל המורים המלמדים והן כחלק מפיתוח עצמאות של מורי המגמה המשתמשים בסביבת הלמידה, בבחינת תוכנית לימודים ברת קיימה.

דרישות תה"ל והסטנדרטים, ומתוך כך מורי ההשתלמות גיבשו הדגשים והמלצות להוראה.

בשלב האחרון, הוזמנו המורים המשתלמים להתנסות בפיתוח של פעילות חקר קצרה המשלבת כלי ביודאינפורמטי אחד, אם כתוספת המשתלבת בפעילויות מסביבת הלמידה, ואם כפעילות בפני עצמה בנושא הקרוב ללב המורים. מלאכת הפיתוח נעשתה בצוותים והיא זימנה למורים אפשרויות לדון בידע, במיומנויות ובדרישות מהתלמיד, ברמה של כלי ביודאינפורמטי בודד ועד בחינה מערכתית.

מודל זה של השתלמות המורים נשען על למידה מדורגת ומתקדמת של המורים המשתלמים: תחילה "מורה כתלמיד", דרך "מורה כמורה" ועד "מורה כמפתח" (בהשתלמויות אחרות, יושם גם שלב "מורה כחוקר").

לראשונה, המורות המנחות גם הציגו את הפעילויות הקצרות והמשחקים הלימודיים שפותחו על ידן במסגרת התוכנית להתפתחות מקצועית במכון ויצמן למדע. כך ניתן היה להדגיש ולהמחיש את החשיבות בהוראה ספירלית של ביודאינפורמטיקה. הוראה המשלבת באופן מדורג משחקים לימודיים, פעילויות חקר חד-שלביות המתמקדות בכלי ביודאינפורמטי אחד, ופעילויות חקר רב-שלביות מורכבות הכוללות מספר כלים ביודאינפורמטיים.

מטרת ההשתלמות היתה לקדם בוגרים (מורים) הבקיאים בסביבת הלמידה, בעלי "ארגז כלים" עשיר ומגוון מבחינת ידע ומיומנויות בתחום התוכן, באסטרטגיות הפדגוגיות ובהערכה. מרבית בוגרי ההשתלמות גם מכירים בחשיבות הוראת הנושא ומאמינים ביכולתם להתמודד עם הוראת הנושא בתיכון. כראיה לכך, מרביתם עוסקים בהוראת הביודאינפורמטיקה בכיתותיהם.

ובאשר למורות מנחות ההשתלמות- בהן גובשה זהות של מורות מובילות המקדמות את הוראת ביודאינפורמטיקה בשדה. זהות זו זכתה להכרה בקרב מפמ"רית המגמה ומורי ההשתלמות. כמו כן, התבססה בהן תחושת מסוגלות להשתלב בצוותי חשיבה ופיתוח תכניות וחומרי למידה.

הקשר ההדוק ושיתוף הפעולה עם מפמ"רית המקצוע מחד ועם מפתחי תה"ל במכון ויצמן למדע, כמו גם עם חוקרים בתחומי המדע והוראת המדעים מאידך, מעניק ממדים נוספים ייחודיים לקשרים בין חברי קהילות המורים. קשרים אלו מאפשרים עדכון מתמיד והתאמה של סביבת הלמידה בביואינפורמטיקה לצרכים בשטח, ולקידום הוראת הנושא והפצתו.

**מחברים:** ד"ר יוסי מחלוף, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, ד"ר רונית שינה מורה לביוטכנולוגיה בתיכון שוהם, רחל סקאל, מורה לביוטכנולוגיה בתיכון קציר ברחובות, אוהד לבקוביץ, מורה לביוטכנולוגיה בתיכון מקיף עירוני א באשקלון, ד"ר אילת אברהם, מפמ"רית ביוטכנולוגיה, משרד החינוך, פרופ' ענת ירון, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.

## מקורות

1. Fullan MG (1993) Why teachers must become change agents. *Educational Leadership* 50: 12-17.
2. Sarason SB (1996) Revisiting "The culture of the school and the problem of change". New York: Teachers College Press.
3. Spillane JP (1999) External reform initiatives and teachers' efforts to reconstruct their practice: The mediating role of teachers' zones of enactment. *Journal of Curriculum Studies* 31: 143-175.
4. Goodson IF (2003) Professional knowledge, professional lives: Studies in education and change. Maidenhead: Open University Press.
5. Ryder J, Banner I (2012) School teachers' experiences of science curriculum reform. *International Journal of Science Education* 35: 490-514.
6. National Research Council [NRC] (2003) BIO2010: Transforming undergraduate education for future research biologists. Washington, DC: The National Academies Press.
7. American Association for the Advancement of Science [AAAS] (2011) Vision and change in undergraduate biology education. A call to action. <http://visionandchange.org/files/2011/03/Revised-Vision-and-Change-Final-Report.pdf>.
8. Labov JB, Reid AH, Yamamoto KR (2010) Integrated biology and undergraduate science education: A new biology education for the twenty-first century? *CBE-Life Sciences Education* 9: 10-16.
9. Woodin T, Carter VC, Fletcher L (2010) Vision and change in biology undergraduate education, A call for action—initial responses. *CBE-Life Sciences Education* 9: 71-73.
10. Magana AJ, Taleyarkhan M, Alvarado DR, Kane M, Springer J, et al. (2014) A survey of scholarly literature describing the field of bioinformatics education and bioinformatics educational research. *CBE-Life Sciences Education* 13: 607-623.
11. Campbell CE, Nehm RH (2013) A critical analysis of assessment quality in genomics and bioinformatics education research. *CBE-Life Sciences Education* 12: 530-541.
12. Gelbart H, Yarden A (2006) Learning genetics through an authentic research simulation in bioinformatics. *Journal of Biological Education* 40: 107-112.
13. Machluf Y, Yarden A (2013) Integrating bioinformatics into senior high school: Design principles and implications. *Briefings in Bioinformatics* 14: 648-660.

14. Wefer SH, Anderson RO (2008) Identification of students' content mastery and cognitive and affective percepts of a bioinformatics miniunit: A case study with recommendations for teacher education. *Journal of Science Teacher Education* 19: 355-373.
15. Wefer SH, Sheppard K (2008) Bioinformatics in high school biology curricula: A study of state science standards. *CBE-Life Sciences Education* 7: 155-162.
16. Ondrej V, Dvorak P (2012) Bioinformatics: A history of evolution "in silico". *Journal of Biological Education* 46: 252-259.
17. Gallagher SR, Coon W, Donley K, Scott A, Goldberg DS (2011) A first attempt to bring computational biology into advanced high school biology classrooms. *PLoS Comput Biol* 7: e1002244.
18. Kovarik DN, Patterson DG, Cohen C, Sanders EA, Peterson KA, et al. (2013) Bioinformatics education in high school: Implications for promoting science, technology, engineering, and mathematics careers. *CBE-Life Sciences Education* 12: 441-459.
19. Marques I, Almeida P, Alves R, Dias MJ, Godinho A, et al. (2014) Bioinformatics projects supporting life-sciences learning in high schools. *PLoS Comput Biol* 10: e1003404.
20. Schneider MV, Jimenez RC (2012) Teaching the fundamentals of biological data integration using classroom games. *PLoS Comput Biol* 8: e1002789.
21. McQueen J, Wright JJ, Fox JA (2012) Design and implementation of a genomics field trip program aimed at secondary school students. *PLoS Comput Biol* 8: e1002636.
22. Lewitter F, Bourne PE (2011) Teaching bioinformatics at the secondary school level. *PLoS Comput Biol* 7: e1002242.
23. Via A, De Las Rivas J, Attwood TK, Landsman D, Brazas MD, et al. (2011) Ten simple rules for developing a short bioinformatics training course. *PLoS Comput Biol* 7: e1002245.
24. Form D, Lewitter F (2011) Ten simple rules for teaching bioinformatics at the high school level. *PLoS Comput Biol* 7: e1002243.
25. Costa MJ, Galembeck E, Marson GA, Torres BB (2008) A quick guide for computer-assisted instruction in computational biology and bioinformatics. *PLoS Comput Biol* 4: e1000035.
26. Cummings MP, Temple GG (2010) Broader incorporation of bioinformatics in education: Opportunities and challenges. *Briefings in Bioinformatics* 11: 537-543.
27. Machluf Y, Dahan O, Shpalter-Avidan C, Mitchel A, Yarden A (2011) Bioinformatics in the service of biotechnology, A web-based learning environment for biotechnology majors, <http://stwww.weizmann.ac.il/g-bio/bioinfo>. Rehovot, Israel: The Amos de-Shalit Israeli Center for Science Teaching.
28. מחלוף י, אברהם א, ירדן ע (2013) שילוב נושא הביואינפורמטיקה בתכנית הלימודים בביוטכנולוגיה. מור-טק - כתב העת של מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים 8: 22-34.
29. הפיקוח על הביוטכנולוגיה (2012) תוכנית לימודים במערכות ביוטכנולוגיות. המינהל למדע וטכנולוגיה, משרד החינוך, ישראל.
30. הפיקוח על הביוטכנולוגיה (2014) מערכות ביוטכנולוגיות - תוכנית לימודים מעודכנת לרפורמה תשע"ה. המינהל למדע וטכנולוגיה, משרד החינוך, ישראל.
31. Parke HM, Coble CR (1997) Teachers designing curriculum as professional development: A model for transformational science teaching. *Journal of Research in Science Teaching* 34: 773-789.
32. Shulman L (1987) Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review* 57: 1-23.



33. Luehmann AL (2007) Identity development as a lens to science teacher preparation. *Science Education* 91: 822-839.
34. Machluf Y, Gelbart H, Yarden A. High-school teachers' appropriation of an innovative curriculum in bioinformatics. In: Krüger D, Ekborg M, editors; 2012; Berlin, Germany. pp. 213-225.
35. Wood L, Gebhardt P (2013) Bioinformatics goes to school—new avenues for teaching contemporary biology. *PLoS Comput Biol* 9: e1003089.
36. המינהל למדע וטכנולוגיה (2013) אירועים במגמות הטכנולוגיות: כנס בין-לאומי למורים במכון האירופאי לביואינפורמטיקה. משרד החינוך, ישראל.
37. Greeno JG (1998) The situativity of knowing, learning, and research. *American Psychologist* 53: 5-26.
38. Brown JS, Collins A, Duguid P (1989) Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher* 18: 32-42.
39. Whitcomb J, Borko H, Liston D (2009) Growing talent: Promising professional development models and practices. *Journal of Teacher Education* 60: 207-212.
40. Loucks-Horsley S, Stiles KE, Mundry S, Love N, Hewson PW (2010) *Designing professional development for teachers of science and mathematics*. . Thousand Oaks, CA: Corwin Press, iNC.

# פרויקט הקליניקה החינוכית: סטודנטים להנדסה כמורים למדעים בבתי ספר תיכון

אהרון גרו

בשנת הלימודים תשע"ג, השתתפו שלושה עשר סטודנטים. המחקר המתואר להלן עקב לאורך השנה אחר עמדות הסטודנטים כלפי התוכנית ובחן האם התרחש במהלכה שינוי במוטיבציה של הסטודנטים כלפי השתתפותם בה.

## רקע תיאורטי

מוטיבציה מוגדרת כרצון הפרט להשקיע משאבים בהתנהגות מסוימת. תורות מוטיבציה מנסות להתחקות אחר מקורות המוטיבציה ולהסביר תהליכים המניעים את הפרט להתנהג כפי שהוא מתנהג. תורת ההכוונה העצמית [5] הינה תורת מוטיבציה המזהה שלושה צרכים מולדים בקרב האדם:

- צורך באוטונומיה (autonomy) – צורך הפרט להרגיש שהתנהגות מסוימת לא נכפתה עליו;
  - צורך במסוגלות (competence) – צורך הפרט להרגיש שהוא בעל יכולת ומסוגל לעמוד ביעדים אתגריים;
  - צורך בשייכות (relatedness) – צורך הפרט להיות מקובל ולהיות חלק מקבוצה.
- כאשר צרכיו של האדם מסופקים - אזי הדבר יביא אותו לרמת מוטיבציה גבוהה, מוטיבציה פנימית (intrinsic motivation), הבאה לידי ביטוי בעניין והנאה שהפרט

## מבוא

של המחסור במהנדסים ומדענים [1-2] וכחלק מהמאמץ להגדיל את מעורבות האקדמיה בקהילה, אוניברסיטאות רבות מציעות תוכניות שמטרתן להגביר את עניין תלמידי התיכון במדעים ובהנדסה ולעודדם לפתח קריירה בתחומים אלה. חלק מהתוכניות מתקיימות באוניברסיטאות עצמן, אליהן מגיעים תלמידי התיכון [3-4], ובאחרות הפעילות מתקיימת בבתי הספר התיכוניים ע"י נציגי האוניברסיטאות – מרצים וסטודנטים.

לאחרונה, בטכניון – מכון טכנולוגי לישראל פותחה ויושמה תוכנית ייחודית בשם "קליניקה חינוכית". התוכנית, המתפרסת על שנת לימודים אחת, נועדה להכשיר סטודנטים כעוזרי הוראה בבתי ספר תיכון במקצועות המדעיים במטרה לסייע לתלמידי תיכון במקצועות אלה ולהגביר את העניין שלהם בלימודים גבוהים בתחום. חלקה הראשון של התוכנית מקנה ידע תיאורטי על תורות למידה ושיטות הוראה, ובמהלכה הסטודנטים מתנסים בתכנון והוראת שיעור בתחומי המדעים בפני עמיתיהם. חלקה השני כולל התנסות מעשית בהוראת המדעים בהיקף של שלוש שעות שבועיות בבתי ספר תיכון בפני קבוצות תלמידי קטנות. במחזור הראשון של התוכנית, שהתקיים

מוצא בהתנהגות. סיפוק חלקי של הצרכים יוביל לרמת מוטיבציה נמוכה יותר, מוטיבציה חיצונית (extrinsic motivation), הכוללת מספר סוגים של הכוונות. למשל, הכוונה הכרתית (identified regulation), הנובעת מזיהוי ערך (שאינו עניין והנאה) הגלום בהתנהגות; הכוונת רצייה (introjected regulation), שמקורה בשיקולי יוקרה אישית או ברצון למלא אחר ציפיותיהם של אנשים החשובים לפרט; והכוונה חיצונית (external regulation) הנובעת מתקווה לקבלת תגמול חומרי (מידי) עבור ההתנהגות או לחלופין מחשש מעונש. היות ותורת ההכוונה העצמית הפכה לאחרונה לתיאוריה מובילה בתחום המוטיבציה בכלל והמוטיבציה החינוכית בפרט [6], נעזרנו בה במחקר זה.

## תיאור התוכנית

התוכנית "קליניקה חינוכית" כוללת, כאמור, שני חלקים. החלק הראשון, המתמקד בהכשרה מרוכזת להוראה, נלמד בסמסטר חורף במסגרת הקורס האקדמי "קליניקה חינוכית 1", בן שלוש שעות שבועיות. החלק השני, שעיקרו התנסות בהוראה בבתי הספר התיכוניים, מתקיים בסמסטר אביב במסגרת הקורס "קליניקה חינוכית 2". התוכנית מוצעת לכלל הסטודנטים הלומדים לקראת תואר ראשון בטכניון.

הקורס "קליניקה חינוכית 1", נפתח בפרק עיוני בן שישה שבועות העוסק בתורות למידה ושיטות הוראה. בשלושת השבועות הראשונים נלמדים בסיס הידע של ההוראה והיבטים קוגניטיביים, חברתיים וריגושיים של למידה. בשלושת השבועות

הבאים דנים במטרות ההוראה, דרכי הוראה והערכה בהוראה. בשבוע השביעי, מתקיים שיעור עיוני לדוגמא בנושא מדעי ברמה תיכונית ע"י סגל ההוראה בקורס. שאר השבועות מוקדשים להוראה זוטא, במסגרתה כל סטודנט/ית מתנסה בהוראת שיעור עיוני בן 45 דקות בפני העמיתים לקורס בנושא לבחירתו/ה הלקוח מתוכנית הלימודים התיכונית במתמטיקה, פיסיקה, כימיה, ביולוגיה או מדעי המחשב. שאר הסטודנטים משתתפים באופן פעיל בשיעור, לרבות שאילת שאלות, ובמקביל הם ממלאים טופס הערכה מתאים. בתום השיעור, מתקיים בכיתה דיון בהשתתפות הסטודנט/ית המתנסה, העמיתים לקורס וסגל ההוראה, ובסיומו הסטודנט/ית מתבקש/ת להגיש דו"ח רפלקציה על השיעור. בפיתוח הקורס נעשה שימוש בספרים "פסיכולוגיה בחינוך במאה ה-21" [7] ו-"הוראה יעילה באוניברסיטה – מתיאוריה למעשה" [8].

במסגרת הקורס "קליניקה חינוכית 2", הסטודנטים מלמדים בבתי ספר תיכון, בהיקף של שלוש שעות שבועיות, קבוצות קטנות של תלמידים. ההוראה היא במגוון מקצועות מדעיים ובליווי של המורה המקצועי. הסטודנטים עוזרים לתלמידים מתקשים ו/או מנחים פעילויות העשרה לתלמידים מצטיינים, לרבות סיורים בטכניון. חשוב להדגיש כי הסטודנטים הם אלה שבחרים את בית הספר, המקצוע ואת תכני ההוראה, והם אינם מוגבלים לתוכנית הלימודים התיכונית. לאורך הסמסטר, סגל ההוראה בקורס מקיים מפגשי הנחייה עם הסטודנטים. במפגשים אלה הסטודנטים מחליפים חוויות

ורשמים ודנים בצוותא בהתלבטויות וקשיים.

## מערך המחקר

מטרת המחקר הייתה לעקוב לאורך שנת הלימודים אחר עמדות הסטודנטים כלפי התוכנית ולבחון האם חל במהלכה שינוי בגורמי המוטיבציה של הסטודנטים כלפי השתתפותם בתוכנית.

אוכלוסיית המחקר כללה שלושה עשר סטודנטים (מהן שתי סטודנטיות) בטווח הגילאים 20-33. הסטודנטים השתייכו לפקולטות הבאות: הנדסת חשמל, הנדסת מכונות, הנדסה כימית, הנדסת תעשייה וניהול, מדעי המחשב וחינוך למדע וטכנולוגיה ונמצאו בסמסטר השלישי-התשיעי ללימודיהם. לעשרה מהם היה ניסיון קודם בהוראה - במתן שיעורים פרטיים או חונכות במסגרת פרויקטים שונים, ואחד מהם תרגל בטכניון במשך שנה. במסגרת התוכנית, הסטודנטים לימדו בשמונה בתי ספר תיכוניים באזור חיפה, הגליל והעמקים. הסטודנטים לימדו מתמטיקה, פיסיקה, כימיה, ביולוגיה ומדעי המחשב קבוצות תלמידים מכיתות ח'–י"ב שבהן בין שני תלמידים לעשרים ושמונה תלמידים.

לאור מספר הסטודנטים הקטן שהשתתף בתוכנית והיות והמחקר התמקד באפיון עמדות סטודנטים ובתהליכי שינוי אותם הם עברו במהלך התוכנית, הוחלט להשתמש בכלים איכותניים. הסטודנטים התבקשו למלא שאלונים פתוחים בשלושה מועדים: שאלון מקדים בתחילת הקורס "קליניקה חינוכית 1" (שאלון 0), שאלון ביניים בסיום הקורס "קליניקה חינוכית

1" (שאלון 1) ושאלון מסכם בסיום הקורס "קליניקה חינוכית 2" (שאלון 2). בנוסף, בסיום כל קורס התקיימו ראיונות קבוצתיים עם סטודנטים.

## ממצאים

בשאלון המקדים (שאלון 0), הסטודנטים נשאלו "מדוע בחרת להשתתף בתוכנית?". 12 מהמשיבים (92%) ציינו נימוקים תועלתניים: "להתגבר על פחד קהל", "לשפר את הביטחון העצמי" ואף "זה תורם גם בראיונות עבודה". סטודנט אחד בלבד (8%) הזכיר עניין כגורם להשתתפותו בתוכנית: "נושא ההוראה מעניין מאוד".

בשאלון הביניים (שאלון 1), שמולא בתום הקורס "קליניקה חינוכית 1", נשאלו הסטודנטים "מהן תחושותיך לאחר ההתנסות בהוראה זו?". כל הסטודנטים (100%) ציינו כי הייתה זו חוויה חיובית במיוחד: "הייתה חוויה מיוחדת במינה", ו-"ערכה של ההתנסות שעברתי לא יסולא בפז". מדברי סטודנטים במסגרת הראיונות מתברר כי החוויה החיובית נבעה מתחושת מסוגלות לעמוד בהצלחה באתגר ההוראה בפני כיתה:

*"התנסותי בדבר האמיתי... זה היה  
עמא אתמא... אפא הזחתי לצמא?  
כק!"*

בשאלון הביניים נשאלו הסטודנטים גם "מה דעתך על הקורס?". כל הסטודנטים (100%) כתבו כי הקורס מצליח להקנות מיומנויות הוראה והדרכה: "קורס חשוב ביותר לכל מהנדס לעתיד. מכין בצורה מעולה להצגת פרויקטים ועמידה מול

קהל" ו-"מקנה כלים דרושים ביותר לכלל הסטודנטים והמתרגלים בטכניון". שישה מהם (46%) ציינו בנוסף את העניין וההנאה שמצאו בקורס "זה בהחלט הקורס הכי מעניין שעשיתי בתואר" ו-"התחושה העיקרית שאני לוקח איתי היא הנאה".

בשאלון **המסכם (שאלון 2)**, שמולא בתום הקורס "קליניקה חינוכית 2", נשאלו הסטודנטים על שיקוליהם בבחירת התיכון בו לימדו, "נא לפרט את שיקולך לבחירת בית הספר התיכון שבו לימדת". שבעה סטודנטים (54%) ציינו כי העדיפו ללמד בתיכון בו הם עצמם למדו ואליו הם מרגישים תחושת שייכות: "ראיתי בהתנסות זו סגירת מעגל והזדמנות להחזיר מעט למקום שבו גדלתי" ו-"זאת החטיבה שאני למדתי בה... זאת הקהילה שלי שאני יכול לעזור לה... אלה הילדים שאני מכיר ורואה ביום יום, שאני רוצה שיגיעו רחוק". אחרים כתבו כי בחרו את התיכון עפ"י מאפייני התלמידים הלומדים בו "הרגשתי בנוח לעמוד מול תלמידים חזקים יותר עם חיבה למקצוע".

בתשובה לשאלה "מה דעתך על התוכנית?", כל הסטודנטים (100%) ציינו את התרשמותם החיובית והזכירו הן את התועלת שהפיקו ממנה: "למדתי איך לשפר את יכולות ההוראה שלי... הפקתי תועלת... כישורים שאני לוקח איתי לכל פרויקט בו אעסוק בעתיד בתחום הוראה/הדרכה ושיווק", והן את העניין וההנאה שחוו: "זה הדבר הכי מהנה מאז שהתחלתי ללמוד בטכניון (ואני לומד הרבה שנים)" ו-"הפעילות הייתה מאוד מעניינת בשבילי... אחרי ההתנסות וכל מה שעברתי ביחד עם הכיתה הרגשתי שאני נותן

לתלמידים כי אני רוצה לתת ולא כי אני חייב".

מדברי סטודנטים במסגרת הראיונות עולה כי להנאה תרמה תחושת האוטונומיה שאפיינה את ההוראה בתיכון:

*"חוויה מהנה ביותר... אין אף מקום - בית ספר או קורס אקדמי - שנותן לי אף דף חופשית כמו כאן... שנותן לי אפשרות להחליט בעצמי מה אצטרך, איך ואיך קצת".*

תחושת המסוגלות לעמוד בהצלחה באתגר ההוראה תרמה אף היא להנאה:

*"הביטחון העצמי שלי השתפר ממה שהייתי... הרגשתי נפלא עכשיו".*

בתשובה לשאלה "האם תמליץ לחבריך להשתתף במחזור הבא של התכנית?", 12 סטודנטים (92%) השיבו בחיוב ונימקו: "כי התוכנית גם מלמדת, גם תורמת ברמה האישית וגם מאוד חווייתית". סטודנט אחד (8%) השיב כי ימליץ באופן מסויג כי החלק ההתנסותי לא התנהל היטב מבחינה אדמיניסטרטיבית בתיכון שבו בחר ללמד.

שרטוט 1 מציג את השכיחות לאזכור גורמי מוטיבציה פנימיים (עניין והנאה) וגורמי מוטיבציה חיצוניים המשקפים הכוונה הכרתית (הפקת תועלת) בתשובות שהתקבלו בשאלונים השונים.

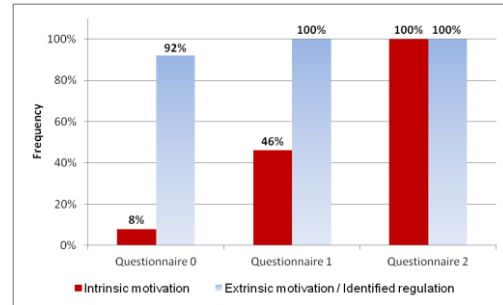
חשוב להדגיש כי גורמי מוטיבציה חיצוניים אחרים לא נמצאו בתשובות הסטודנטים. ניתן להתרשם כי בעוד ששכיחותם של הגורמים החיצוניים המבטאים הכוונה הכרתית נשארה קבועה בקירוב, שכיחות הגורמים הפנימיים עלתה באופן משמעותי במהלך התוכנית.

בבואם לקבוע את תכני ההוראה בתיכון, ולבסוף, הצורך בשייכות התמלא ע"י הוראה בתיכון בו הסטודנטים עצמם למדו והרגישו כלפיו תחושת שייכות. בעוד שהצורך במסוגלות החל להתמלא כבר לאחר ההתנסות בהוראה זוטא בטכניון והמשיך להתמלא במהלך ההוראה בתיכון, שני הצרכים הנוספים באו על סיפוקם רק במהלך ההוראה בתיכון. לפיכך, העלייה שהתרחשה בגורמי המוטיבציה הפנימית של הסטודנטים היא הדרגתית.

### סיכום

התוכנית הייחודית "קליניקה חינוכית" פותחה ויושמה לאחרונה בטכניון – מכון טכנולוגי לישראל. התכנית, המעודדת מעורבות אקדמיה בקהילה, מכשירה סטודנטים כעוזרי הוראה בבתי ספר תיכון. בתום פרק ההכשרה, הסטודנטים משתלבים בבתי הספר ומסייעים לתלמידים במקצועות מדעיים. המחקר עקב לאורך שנה אחר עמדות שלושה עשר סטודנטים שהשתתפו במחזור הראשון של התוכנית.

ממצאי המחקר מצביעים על עמדות חיוביות מאוד כלפי התוכנית. לצד ערך קבוע גבוה של גורמי מוטיבציה הכרתית, המבטאים את שביעות רצון הסטודנטים מהתועלת שהפיקו מהתוכנית בכל הנוגע לשיפור מיומנויות ההוראה שלהם, נמצאה עלייה ניכרת לאורך השנה במשקלם של גורמי מוטיבציה פנימית, המשקפים את העניין וההנאה של הסטודנטים בתוכנית.



שרטוט 1: גורמי מוטיבציה פנימיים וחיצוניים - שכיחות אזכור בתשובות לשאלונים

### דיון

על פי הממצאים, משקלם של גורמי מוטיבציה הכרתית כמעט ולא השתנה במהלך התוכנית ושמר על ערך גבוה מאוד. הדבר מצביע על כך כי ציפיות הסטודנטים להפיק תועלת מהקורס - ציפיות שבאו לידי ביטוי בתשובותיהם לשאלון 0 - אכן נענו, כפי שניתן לראות בתשובות לשאלונים 1 ו-2.

לעומת זאת, במשקלם של גורמי המוטיבציה הפנימית חל שינוי ניכר במהלך התוכנית. בתחילת התוכנית משקלם של הגורמים הפנימיים היה נמוך מאוד בהשוואה למשקלם של הגורמים החיצוניים. עם התקדמות התוכנית, הלך ועלה משקלם של הגורמים הפנימיים, עד שבסיומה כל הסטודנטים ציינו את העניין וההנאה שהפיקו מהתוכנית.

ניתן להסביר את השיפור ההדרגתי במוטיבציה הפנימית לאור תורת ההכוונה העצמית [5-6]. לפיה, השיפור נובע מכך שהתוכנית הצליחה לספק את שלושת הצרכים הבסיסיים של הפרט. הצורך במסוגלות התמלא ע"י עמידה בהצלחה באתגר ההוראה בפני הכיתה, הצורך באוטונומיה בא על סיפוקו בתחושת ה- "יד החופשית" שהרגישו הסטודנטים

המחבר מבקש להביע את תודתו ליותם דרקסלר על רעיונותיו, ולפרופ' אורית חזן וד"ר מיכל סרי על עזרתן הרבה בתכנון ובהוצאה לפועל של התוכנית.  
מחקר זה מומן ע"י הועדה לתכנון ולתקצוב של המועצה להשכלה גבוהה.

מבוסס על מאמר שהוצג בכנס New Perspectives in Science Education שהתקיים במרץ 2014 בפירנצה, איטליה.

**מחבר:** ד"ר אהרון גרו, המחלקה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל, חיפה

## מקורות

1. National Science Board, Science and engineering indicators 2010, Arlington, VA, National Science Foundation, 2010.
2. I. Zeid, J. Chin, S. Kamarthi, and C. Duggan, New approach to effective teaching of STEM courses in high schools, *International Journal of Engineering Education*, **29**, 2013, pp. 154-169.
3. P. Molina-Gaudo, S. Baldassari, M. Villarroya-Gaudo, and E. Cerezo, Perception and intention in relation to engineering: A gendered study based on a one-day outreach activity, *IEEE Transactions on Education*, **53**, 2010, pp. 61-70.
4. O. Hazzan, A. Tal, and I. Keidar, Female pupils' perception of electrical engineering, *Encyclopaedia of Gender and Information Technology*, E. M. Trauth (ed.), 2006, pp. 310-316.
5. E. L. Deci and R. M. Ryan, The 'what' and 'why' of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*, **11**, 2000, pp. 227-268.
6. E. L. Deci, R. J. Vallerand, L.G. Pelletier, and R. M. Ryan, Motivation and education: The self-determination perspective, *Educational Psychologist*, **26**, 1991, pp. 325-346.
7. A. Ziv and N. Ziv, *Psychology in Education (21<sup>st</sup> century)*, HaMol, Tel Aviv, 2010. [In Hebrew].
8. N. Hativa, *Effective University Teaching: From Theory to Practice*. Tel Aviv: Ramot publishing company, 1997. [In Hebrew].

# בין יזמות, יוזמות ושיתוף – רשמים מכנס מורי מגמת הביוטכנולוגיה

יוסי מחלוף, אוהד לבקוביץ, ענת ירדן, אילת אברהם

בהמשך ניתנו הרצאות מטעם חוקרים בעלי שם עולמי מן האקדמיה. הראשון שבהם היה פרופ' ירון כהן מהמחלקה לאימונולוגיה במכון ויצמן למדע. פרופ' כהן תאר מתוך ניסיונו האישי את הדרך הפתלתלה ממחקר מעבדתי ועד פיתוח תרופה. בהרצאתו סקר שני מחקרים בסיסיים שהתפתחו לכדי מחקר יישומי: שימוש בתאי T כחיסון לחולים במחלות אוטואימוניות כדוגמת טרשת נפוצה, ומתן פפטיד קצר (DiaPep277), אשר מונע הרס תאי בטא בבלב, לחולים בסוכרת מסוג 1.

פרופ' אמיר שגיא מהמחלקה למדעי החיים באוניברסיטת בן גוריון שבנגב תיאר כיצד גילוי הורמון דמוי אינסולין המתבטא בבלוטה האנדורגנית בסרטני מים, ושימוש בכלים להשתקת ביטויו (RNAi), הוביל לפיתוח ביוטכנולוגי המאפשר לייצר אוכלוסיות של סרטני מים זכרים בלבד. לטכנולוגיה זו היבטים מסחריים עבור מגדלים ברחבי העולם, עקב גודלו העצום של הזכר הבוגר בהשוואה לנקבה. כמו כן, סופר על הפוטנציאל הבריאותי-סביבתי הקיים בשימוש באוכלוסייה מבוקרת של סרטנים זכריים במקורות מים מזוהמים בטפילים הגורמים למחלות זיהומיות במדינות העולם השלישי.

ד"ר אריה בן יוסף, מנהל טכנולוגי ועסקי בחממה הטכנולוגית NGT-VC הממוקמת בנצרת, סקר את ההיבט ההיסטורי

ביום ראשון, כ"ג בניסן תשע"ה 12/04/15, התקיים במכון ויצמן למדע כנס מורי מגמת הביוטכנולוגיה בנושא "יוזמות ויזמות בביוטכנולוגיה". הכנס הינו פרי יוזמה ושיתוף פעולה הדוק בין הפיקוח על הוראת הביוטכנולוגיה במשרד החינוך וקבוצת הביולוגיה במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע. זו השנה השלישית ברציפות בה מתקיימים ימי עיון למורי המגמה, כאשר בשנים קודמות הכנסים עסקו בפרוטאומיקה (תשע"ג) וברפואה מותאמת אישית (תשע"ד). הכנס, בו השתתפו מורים לביוטכנולוגיה מכל קצוות הארץ, אם כמרצים ואם כמשתתפים, עסק בהיבטים מדעיים-טכנולוגיים-עסקיים של יזמות בביוטכנולוגיה וכן בהיבטים חינוכיים-פדגוגיים של יוזמות בביוטכנולוגיה בבתי הספר.

הכנס נפתח בדברי ברכה מפי ד"ר יוסי מחלוף, אשר ציין את מטרת הכנס – לקרב בין חידושים במחקר במדע ובהוראת המדעים לבין הוראה. עוד הודגש כי שיתוף המורים והתלמידים כחלק משמעותי ועיקרי בכנס זה, לצד חוקרים בעלי שם ואנשי מפתח בתעשייה, מגשים הלכה למעשה את חזונה של המחלקה להוראת המדעים, אשר רואה במורים את ליבת העשייה בכל שלבי המפתח בתהליכי מחקר, פיתוח, הטמעה, הערכה ועוד.



בהתפתחות החממות הטכנולוגיות בישראל: החל במטרות, דרך המודל העסקי ואבני הדרך בפעילותן, ועד לתפוקות שהניבו ולתמורות שחוללו. ד"ר בן יוסף הציג בגאווה את חזונה של NGT-VC לפיתוח וקידום החברה הערבית במדינת ישראל, תוך השקעה במיזמים חדשניים בקרב מדעני ויזמי המגזר, וסיוע לנשים פורצות דרך בקידום ומימוש יוזמותיהן.

חלק משמעותי הוקדש לשיתוף בין המורים שזכו לשמוע מעמיתיהם על יוזמות בית ספריות במסגרת מגמת הביוטכנולוגיה. המורה מגי מועלם מתיכון דנציגר בקרית שמונה ריתקה את המורים בתארה יוזמה בה התלמידים חקרו את פטריית הקמבוציה ואת מאפייני הגידול שלה, ואף פיתחו תוצרי מזון וטקסטיל, וזאת במסגרת פרויקט הביוטק הבית ספרי. כיום היוזמה מתרחבת גם להיבטים של ביולוגיה סינתטית, תוך מעורבות הולכת וגדלה של התלמידים וגורמים באקדמיה ובתעשייה, כחלק מחינוך ליזמות ולקיימות. המורה ענת לוי מתיכון אורט הנרי רונסון באשקלון תיארה גישה משולבת לשיווק המגמה, בה תלמידים וותיקים הנחו תלמידים לעתיד בביצוע ניסויי חקר מזמינים ופשוטים, שבסופם נערך חידון משעשע בכלי הדיגיטלי Kahoot. שתי יוזמות נוספות עסקו בשיתופי פעולה וקשרי גומלין בין מגמות ביוטכנולוגיה בתיכונים לבין מעבדות מחקר במוסדות אקדמאיים, במסגרת פרויקט הביוטק. האחת בין מגמת הביוטכנולוגיה בתיכון בן צבי בקריית אונו לבין ד"ר אורית שפי מהפקולטה לביו-הנדסה באוניברסיטת בר

אילן, שהוצגה על ידי המורה עירית שולטהייס והתלמידים יובל תרשיש ורון הרשקוביץ; והאחרת בין מגמת הביוטכנולוגיה בתיכון הראל במבשרת ציון לבין ד"ר אהוד כהן בפקולטה לרפואה של האוניברסיטה העברית, שהוצגה ע"י המורה ד"ר רותם פניגר-בריש ותלמידיה חנן אוזנה ומיכאל גורדצקי. בשתי היוזמות הונגש מחקר עכשווי העושה שימוש במערכות מודל מורכבות ושיטות ביוכימיות ומולקולריות מתקדמות לתלמידים, וכן נבחרו כלים דיגיטליים, Glogster ו-Smore בהתאמה, כאמצעי נוסף להצגת המחקר ותוצריו. הערכה חלופית ייחודית נוספת לפרויקט הביוטק, הוצגה על ידי המורה נאיל מחאגנה ותלמידותיו איה אגבריה וזינה אגבריה מתיכון אום אל-פחם. במסגרת זו, תלמידי הכיתה לימדו את מורי ביה"ס על פרויקט הביוטק שביצעו, על תהליך החקר ועל ממצאיו. לאור ההצלחה, מודל זה ייושם גם בפרויקטים נוספים, לא בהכרח מדעיים, בביה"ס. בכל 3 ההצגות האחרונות, התלמידים תיארו את חוויותיהם ממקור ראשון, ובחרו להתמקד הן בהעצמה האישית לאור היוזמה, והן בהשלכות ללימוד במגמה ובכלל.

את הכנס נעלה מפמ"ר המקצוע ד"ר אילת אברהם שהודתה למארגני הכנס ולאכסניה וסיכמה את החידושים שחלו במגמה ואת ההערכות לקראת שנה"ל הבאה.

# אודות "מורטק" - מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים

החינוך הטכנולוגי בישראל, צמרת חוקרי החינוך הטכנולוגי בארץ, נציגי פקולטות הנדסיות במוסדות להשכלה גבוהה, נציגי מורים ומנהל המרכז.

## הנהלת המרכז

הפעילות השוטפת של המרכז במרכז מתבצעת ע"י הצוות הקבוע:

פרופ' אורית חזן, ראש המחלקה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון  
פרופ' אילת פישמן, הפקולטה לביוטכנולוגיה והנדסת מזון, הטכניון  
היועצת האקדמית של המרכז  
ד"ר אהרון שחר, מנהל המרכז  
ענבר דרי, מזכירת המרכז

## חברי צוות מרכז המורים ונציגי המגמות

במרכז פעילים גם נציגי המגמות, המהווים חוליה מקשרת בין המפמ"רים והמרכז:

- אלקטרוניקה - גדי הרמן
- ביוטכנולוגיה - פנינה ניצן
- מכונות - ד"ר דני קלוס
- מדעית הנדסית - ראובן ששון

## פעילויות המרכז כוללת

- אתר אינטרנט
- סדנאות וימי עיון
- כנסי מורים
- קורסים והשתלמויות
- כתב עת
- יוזמות חינוכיות

מור-טק - מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים-מדעיים שוכן במחלקה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון. המרכז מספק במה להצגת כל הגישות והצוותים האקדמיים ברחבי הארץ העוסקים בהוראת המקצועות הטכנולוגיים-מדעיים בחטיבה העליונה במגמות הבאות: הנדסת מכונות, אלקטרוניקה ומחשבים, מדעית הנדסית וביוטכנולוגיה.

מורטק עובד בשיתוף פעולה הדוק עם האגף לפיתוח תוכניות למודים במשרד החינוך, עם מינהלת מל"מ, עם המפמ"רים, עם ראש תחום הטכנולוגיה ועם אנשי המחקר בפקולטות השונות להנדסה, טכנולוגיה ומדע במוסדות להשכלה גבוהה בארץ ובחו"ל. כל זאת על מנת לספק תמיכה לרכזי המקצועות, למנחים ולמורים בכיוונים הבאים:

1. פיתוח מנהיגות;
2. העמקת ידע בתחומים דיסציפלינאריים ואינטרדיסציפלינאריים ושיטות הוראה מכוונות להבנת מושגים אלה;
3. הכרת השינויים והחידושים הטכנולוגיים העדכניים ופיתוח דרכים לשילובם בתוכנית הלימודים;
4. הכרת שיטות הוראה/הנחיית פרויקטים/למידה בהקשר לחינוך הטכנולוגי;
5. פיתוח חשיבה במגוון המקצועות הטכנולוגיים;
6. הפצת המיומנויות והתכנים של מורים מובילים לכלל המורים;
7. טיפוח מטרות וכיווני חשיבה נוספים למרכז באמצעות ועדת ההיגוי של המרכז, המכונסת פעמים בשנה לדון על מדיניות המרכז. ועדת ההיגוי מורכבת מאנשי מינהל

**דרכי התקשרות:**

טלפון: 04-8293146 פקס: 04-8295481

דואר אלקטרוני

[moretech@technion.ac.il](mailto:moretech@technion.ac.il)

**כתובת:**

מורטק - מרכז מורים ארצי למקצועות

הטכנולוגיים מדעיים

המחלקה לחינוך למדע וטכנולוגיה

קרית הטכניון

חיפה 32000

**מיקום:**

קרית הטכניון,

המחלקה לחינוך למדע וטכנולוגיה

קומה 3, חדר 315

**מפת ההגעה למשרדי מרכז המורים למקצועות הטכנולוגיים מדעיים-מורטק, המחלקה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון, חיפה**



## כתב העת מור-טק - קול קורא למאמרים (Call for papers)

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 1.5 בין השורות. כותבים שמאמרים יתקבלו יתבקשו לשלוח תמונה דיגיטלית.

את המאמר יש לשלוח אל ד"ר אהרון שחר

בדוא"ל: [ahrons@technion.ac.il](mailto:ahrons@technion.ac.il)

במכתב המלווה יש לרשום את מקום העבודה ותפקיד השולח/ת ולהוסיף פרטי התקשרות.

### יתקבלו לפרסום מאמרים העוסקים בתחומים הבאים:

- הנעשה בחינוך הטכנולוגי בארץ: הוראת הטכנולוגיה וקידומה, הערכת לומדים, פרויקטים ועוד.
- למידה מהצלחות וכשלונות: שיעור, פרויקט, 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

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

### במגמות:

- אלקטרוניקה
- ביוטכנולוגיה
- מדעית-טכנולוגית
- מכונות

קהל היעד של כתב העת הוא מורים ורכזים המלמדים במגמות אלו. כמו כן, כתב העת משמש במה ואמצעי לשיתוף ידע גם בין בעלי תפקידים נוספים העוסקים בהוראת הטכנולוגיה כולל 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 קהל הקוראים 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.

# משוב

לקוראי וקוראות מור-טק שלום, אנא השיבו על שאלון משוב זה ושלחו אותו למור-טק - מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים. ניתן לשלוח את המשוב באמצעות

דוא"ל [moretech@technion.ac.il](mailto:moretech@technion.ac.il)  
פקס 04-8295481 או דואר לכתובת:

מורטק - מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים  
המחלקה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון  
קריית הטכניון  
חיפה 32000

תאריך: \_\_\_\_\_ שם הקורא/ת: \_\_\_\_\_ בית הספר: \_\_\_\_\_

בגיליון זה מצאתי עניין בנושאים אלה:

---

---

---

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

---

---

---

הערות נוספות:

---

---

---

נא סמנו X בעמודה המתאימה:

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



**אנו מודים על שיתוף הפעולה**