

# מור-טק

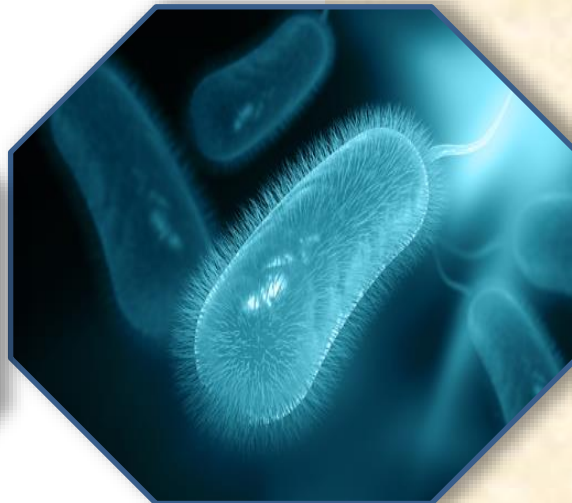
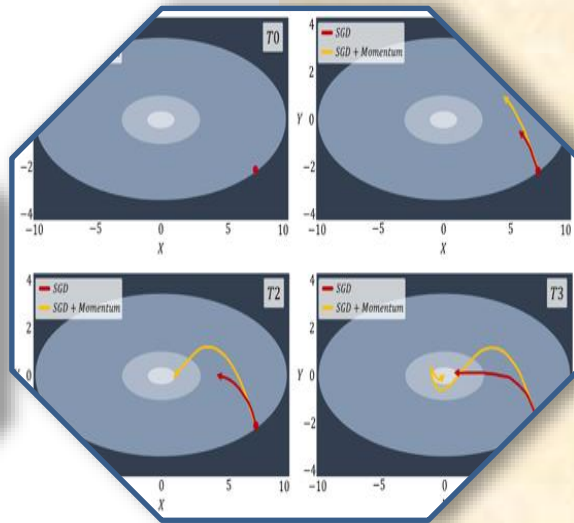
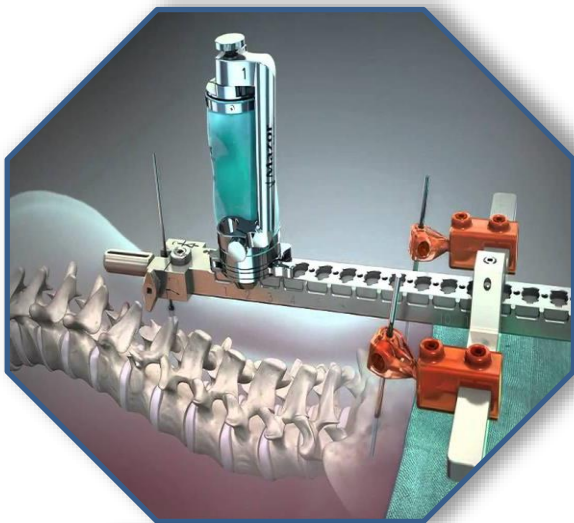


סיון תשע"ט, יוני 2019

14 א

14 ב

כתב העת של מרכז המורים 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 מור-טק. הפרויקט מבוצע על ידי

מוסד הטכניון עפ"י מכרז 30/8.14

הפרויקט מבוצע עבור המזכירות הפדגוגית, משרד החינוך.

כתב העת "מור-טק" 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 שבחוברת זו. שימוש מסחרי מכל סוג שהוא בחומר הכלול בחוברת זו אסור בהחלט אלא ברשות מפורשת בכתב מהמוציא לאור.



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 המוריס הארצי למקצועות טכנולוגיים, מור-טק שלום,

שנת הלימודים תשע"ט הייתה שנה תוססת בפעילויות במסגרת מרכז המוריס הודות לשיתוף הפעולה ההדדי וההדוק עם בכירים בחינוך הטכנולוגי במשרד החינוך והמוריס המובילים בשטח. קידום פרויקט השבחת עבודות גמר והערכת בחינוך הטכנולוגי היווה אחד הפרויקטים החשובים שהתקיים בהצלחה ב- "מור-טק". המטרות העיקריות של הפרויקט הן: 1. הקניית ידע תוכן פדגוגי וידע בהערכה בתהליך למידה מבוסס פרויקטים; 2. התנסות בתהליך למידה מבוסס פרויקטים כתלמיד, כמנחה וכבוחן, במטרה להבין את הנושא מזווית שונות; 3. הכרות והתנסות עם המערכת הממוחשבת לתייעוד למידה מבוססת פרויקטים (מודל - משה"ח).

לפרויקט זה נבחרו מורים מובילים משתי המגמות: הנדסת אלקטרוניקה והנדסת מכונות. המורים עברו שתי תכניות הכשרה: הראשונה התקיימה בקיץ 2018 והשנייה התקיימה במהלך ארבעת החודשים האחרונים השנה. בשתי התכניות המורים התנסו בפעילויות סדנאיות מגוונות בנושאים, כגון: הטמעת המערכת הממוחשבת לתייעוד למידה מבוססת פרויקטים, לימוד סביב פרויקטים ופתרון בעיות - היבטים קוגניטיביים ואפקטיביים, הנדסה הפוכה ומייקינג - תכנון ובניית צעצוע "חכם" ופיתוח מחוון להערכת עבודות גמר. בנוסף, המורים השתתפו בימי עיון וכנסים מגוונים להעשרת הידע שלהם.

המאמר הראשון בגיליון הנוכחי מציג טעימה מתכנית ההכשרה שהמורים הללו עברו בקיץ האחרון בנושא טיוב והשבחת עבודות גמר בחינוך הטכנולוגי. בהמשך, נפרסם חומרי למידה והדרכה בנושא על בסיס תכניות הכשרה אלו. עוד בגיליון זה תמצאו מאמרים בנושאים מגוונים: עמדות סטודנטים להנדסת חשמל כלפי מעבדת חקר באלקטרוניקה, פרויקט פורמולה בטכניון וכו'. מוצגים גם רשמים מכנס המהנדסים הצעירים שהתקיים בטכניון, פברואר 2019 ויריד המגמות הטכנולוגיות 2019.

בפינת המורה המוביל שלי - מדברים מהשטח, ראינו שני מורים מובילים במגמת הנדסת מכונות: אמה מטאייב ומוחמד אבו פודה. המורים דיברו על האתגרים בלימודי המגמה, הישגים מרשימים, עבודות גמר מובחרות וטיפים חשובים למורה מתחיל.

בסוף הגיליון, מוצג לקט של נגיעות ממחקרים מובילים בטכניון, כגון: "רנסנס" של מזור, מערכת רובוטית הממקמת את כלי הניתוח בניתוחי עמוד שדרה ומשפרת דרמטית את רמת הדיוק של הניתוח, הפרויקט הבין-לאומי CloudCT לניטור אקלים, חומרה חדשנית המאיצה את תהליך הלמידה של מערכות בינה מלאכותית, פענוח התצורה האופטימלית להנעת רובוטים זעירים השוחים בגוף האדם ושיטה לריפוי זיהומים פטרייתיים באמצעות חיידק השוכן בקרקע.

לסיום, ניתן להתעדכן באתר המרכז לגבי הפעילויות שלנו. כתמיד, נשמח לקבל מכם משוב. אם ערכתם פעילויות מעניינות בבתי הספר, כמו סדורים, תחרויות, או כנסים, ואתם רוצים לשתף את קהילת המורים צרו קשר עם המערכת בהקדם, ונשמח להוציא לאור את הסיפור שלכם בגיליונות הבאים.

קריאה מהנה ונעימה



הפקולטה לחינוך למדע  
וטכנולוגיה  
הטכניון



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



המינהל למדע וטכנולוגיה  
משרד החינוך

## עורכת אחראית:

ד"ר אמונה אבו-יונס עלי, מנהלת מרכז המוריס הארצי למקצועות הטכנולוגיים, מור-טק

## 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 למדע 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](mailto:moretech@ed.technion.ac.il)

<https://moretech.net.technion.ac.il>

## תוכן עניינים

למידה מבוססת פרויקטים, עבודות גמר והערכתן בחינוך הטכנולוגי ד"ר אמונה אבו-יונס עלי, ד"ר דפנה שוורץ-אשר, ד"ר שרי ריס ופרופ' יהודית דורי.....	4
עמדות סטודנטים להנדסת חשמל כלפי מעבדת חקר באלקטרוניקה, ד"ר אהרון גרו, בטו כץ וד"ר ניסים סבאג.....	19
פיתוח שאלות מולטימדיה מבוססות מיקום לקידום הבנה מדעית, שאדי עסאקלה ופרופ' מירי ברק.....	23
שיתוף פעולה אדם-רובוט: רובוטים חברתיים כעוזרי הוראה לפעילויות למידה בקבוצות קטנות, ד"ר רינת רוזנברג קימה, יעקב קורן, מיה יכני וד"ר גורן גורדון.....	35
פרויקט פורמולה טכניון, טל ליפשיץ.....	40
המורה המוביל שלי - מדברים מהשטח, ד"ר אמונה אבו-יונס עלי.....	43
כנס המהנדסים הצעירים תשע"ט, דב רוסו.....	51
יריד המגמות הטכנולוגיות 2019 - בסגנון "עיר חכמה", סטארט אפ ניישן, רונית נחמיה.....	55
נגיעות ממחקרים מובילים בטכניון, דוברת הטכניון.....	58

## למידה מבוססת פרויקטים, עבודות גמר והערכתן בחינוך הטכנולוגי

ד"ר אמונה אבו-יונס עלי, ד"ר דפנה שוורץ-אשר, ד"ר שרי ריס ופרופ' יהודית דורי  
הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה  
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

### תקציר

למידה מבוססת-פרויקטים (PBL) הינה מתודולוגית הדרכה המסייעת לתלמידים לרכוש מיומנויות הנדרשות להשתלבות בשוק העבודה. התהליך מחייב את התלמידים לחקור ולפתח פרויקטים המשקפים את הידע שלהם. למידה מבוססת-פרויקטים כלולה בתוכנית הלימודים המדעית וההנדסית בישראל, אך היישום שלה יעיל באופן חלקי בלבד, בשל היעדר הנחיות מקצועיות למורים בנושא הנחיית והערכת פרויקטים של תלמידים. לשם מענה על הצורך בהכשרת מורים להנדסה בתחום למידה מבוססת-פרויקטים, מתוארת במאמר זה השתלמות מקצועית שנערכה לאחרונה לקבוצת מורים להנדסה מאוכלוסייה מגוונת הכוללת מורים ערבים ויהודים בני גילאים שונים ובעלי רמות ונושאי התמחות שונים. המורים השתתפו בהרצאות ובסדנאות, במסגרתן נקבעו קריטריונים להערכת עבודות הגמר, הרלוונטיים לדעת המורים. המורים אף יישמו קריטריונים אלה בכיתותיהם ולאחר מכן הציגו את הפרויקטים של תלמידיהם בפני עמיתיהם להשתלמות. מטרת המחקר הייתה לבחון את תפיסת המורים לגבי יישום מיטבי של למידה מבוססת-פרויקטים ואת רמת הידע הפדגוגי וידע התוכן הפדגוגי של המורים במתודולוגיה. התרומה התיאורטית והמעשית של מחקר זה כוללת מדריך לפיתוח, תיקוף ויישום של השתלמות מקצועית בנושא למידה מבוססת פרויקטים, פיתוח מחוון להערכת למידה מבוססת פרויקטים וצעד ראשון למיסוד קהילת מורים מובילים של למידה מבוססת פרויקטים, קהילה שמטרתה השבחת ההוראה ושיפור תהליכי הערכת למידה מבוססת פרויקטים בבתי הספר התיכוניים.

### מבוא

למידה מבוססת פרויקטים (PBL: project-based learning), הינה גישת הוראה ולמידה סביב פרויקטים של תלמידים. הפרויקט מכיל משימות מורכבות שאין להן פתרון אחד בלבד והוא נבנה על סמך שאלות ובעיות מאתגרות שדורשות מהתלמידים לעצב, לפתור בעיות, לקבל החלטות, לחקור פעילויות, לעבוד באופן עצמאי בדרך כלל בצוות לתקופות ממושכות ולהגיע למוצרים הניתנים ליישום (Thomas, 2000). מאפיינים נוספים של למידה מבוססת פרויקטים לפי הספרות הם תוכן אותנטי, הערכה אותנטית, מטרות חינוכיות ברורות, למידה שיתופית, רפלקציה ושילוב מיומנויות ברמות חשיבה גבוהות (Dori, 2003). הגדרות של "הוראה מבוססת פרויקטים" כוללות מאפיינים הקשורים לשימוש בשאלה אותנטית, קהילה חוקרת, שימוש בכלים ומיומנויות קוגניטיביים (מבוססי טכנולוגיה), למידה קונסטרוקטיביסטית (הבנתיים) ונושאים רב תחומיים.

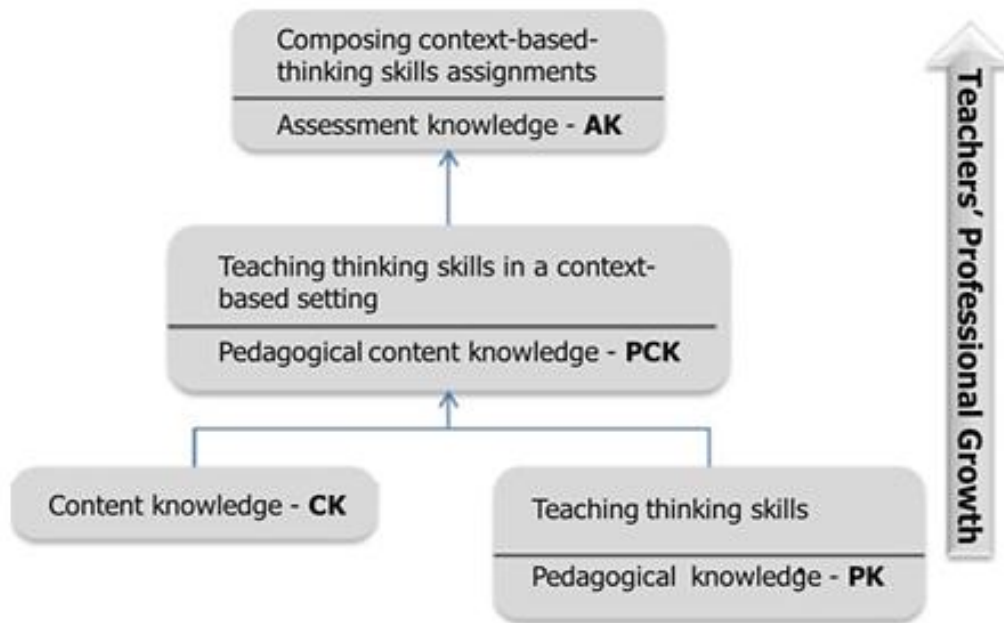
למידה מבוססת פרויקטים מאפשרת הוראת מיומנויות הנדסיות, טכניות, מקצועיות, ועוד, בתחומים מדעיים והנדסיים כמו רובוטיקה (Verner & Ahlgren, 2007) ובעולם הרפואה (Montemayor, 2004). מהן מיומנויות אלו? החוקר גוראז-ראמז וקבוצתו (Juarez-Ramirez et al. 2017) מציעים שלושה סטים של מיומנויות: הנדסת תוכנה, מיומנויות המאה ה-21 ותכונות המהנדס הגלובלי. על הלומדים חלות הדרישות הבאות:

- להבין את המפרט המוצג/המועלה,

- להגדיר התכנית לתכנון הפתרון,
- לכסות פערי ידע הנדרשים למימוש הפתרון באמצעות למידה עצמאית או כזוות,
- לתכנן ולבנות את הפתרון, לוודא שהפתרון מתאים למפרט שהוצג,
- לבצע רפלקציה בסיום התהליך.

בספרם Why PBL? Why STEM? Why now? דנים החוקרים קאפארו וסלואו ( Capraro & Slough, 2008) בלמידה מבוססת פרויקטים. למידה מבוססת פרויקטים בתחומי המדעים מצריכה מיומנויות הוראה ייחודיות מצוות מנחים מקצועי ולפיכך תכנית הכשרה לצוות כזה היא חיונית. למידה מבוססת פרויקטים מספקת אתגר ומוטיבציה, מצריכה חשיבה ביקורתית ואנליטית וממנפת חשיבה מסדר גבוה. כמו כן, למידה זו מקנה מיומנויות של שיתוף פעולה, תקשורת בין עמיתים, פתרון בעיות ולמידה עצמאית. בתחומי המדע לבעיות רבות קיימים מספר פתרונות אפשריים, כשלכל אחד מהם מאפיינים שונים - יתרונות וחסרונות. זאת ועוד, למידה מבוססת פרויקטים בתחום המדעים מספקת קרקע לפיתוח חשיבה ביקורתית ומשקפת התמודדות עם בעיות אותנטיות, שאינן שגרתיות וללא פתרון ברור (Dori, 2003).

קבוצת חוקרים מאירופה וישראל (Birenbaum et al., 2006) טענו כי למידה בעידן המידע מחייבת את הלומד לפתור בעיות תוך הפגנת חשיבה ביקורתית ובשילוב גישות הערכה חלופיות שיתאימו לשינוי בגישות ההוראה והלמידה. בהיבט המורה, לפי פרופ' לי שולמן, סוגי ידע של מורים (Shulman, 1986) כוללים ידע תוכן - CK, ידע פדגוגי - PK וידע תוכן-פדגוגי - PCK אשר בתוכו כלול גם ידע בהערכה. קבוצת חוקרים נוספת (Koehler, Mishra & Yahya, 2007) הדגישו את חשיבות הגישה החינוכית-פדגוגית המחברת בין ידע תוכן, ידע טכנולוגי וידע פדגוגי של מורים - TPACK. סוגי הידע הללו מהווים את עמודי התווך בהתפתחות המקצועית של מורים. ידע של הערכה מתייחס לידע שיש ברשות המורה לגבי התוכן והשיטות להערכת תלמידים שהמורה מיישם. ידע מסוג הערכה ברמה גבוהה נחשב לשיאה של ההתפתחות המקצועית של מורה (Avargil, Herscovitz, & Dori, 2012), כפי שנראה באיור 1.



איור 1. סוגי ידע של מורים המתפתחים במהלך השתלמות מקצועית

בעוד עידן המידע הוא עידן של שינויים טכנולוגיים דרמטיים, במרבית בתי הספר עדיין נעשה שימוש בשיטות הוראה מיושנות, ופרקטיקות ההערכה הקיימות אינן מביאות בחשבון את המורכבות החברתית והגלובליזציה (Birenbaum et al., 2006). למעלה מעשור מתקצב NSF מחקרים בתחום התנסות מורים ותלמידים בחדשנות טכנולוגית במטרה להבנות פרקטיקות ותהליכים התורמים להשתתפות תלמידי החינוך היסודי והתיכוני בפעילויות STEM המובילות לבחירת קריירה בתחום המדעים. ממצאי המחקרים מרחיבים את גוף הידע בנושא אסטרטגיות, הצלחות, מודלים והתערבויות התומכות ומעודדות בני נוער לבחירה בקריירה במדע ומספקים תובנות על פיתוח קריירה בתחום המדע. במחקרים מתוארות מגוון גישות לעיצוב, הערכה וחקר אמפירי של פרויקטים. מהספרות עולה כי תכניות הכשרה מאפשרות פיתוח יצירתיות תוך התנסות ויצירת תרבות של מחנכים ומורים למדעים, אשר מהווים כוח מקצועי קהילתי לעידוד התחום בקרב אוכלוסיות מוחלשות (בנות, פריפריה) (Connors-Kellgren, Parker, Blustein & Barnett, 2016).

חשיבות תכניות ההכשרה הן בגיבוש שימוש במערכת קריטריונים המסייעת להצבת סטנדרט ביצוע ובסיוע באיתור תלמידים בעלי מיומנות של חשיבה ביקורתית או מיומנויות קבלת החלטות המצריכות חיזוק וכן מזרזות מתן משוב (Montemayor, 2004). הערכת פרויקטים עשויה גם להוביל את התלמיד לחשוב כמעריך ולהציע משימת שדרוג המהווה השראה לפיתוח פרויקט חדש. החוקרים ורנר ואולגרן (Verner & Ahlgren, 2007) מראים זאת תוך הצגת מסגרת ליישום, הערכת והמשגת תהליך הוראת פרויקטים ברובוטיקה. כל זאת, תוך עיצוב, בנייה ותפעול רובוט בסביבת למידה. כמו כן, המעבר מתרבות של בחינה לתרבות של הערכה מהווה רפורמה למורים ולמוסדות (Dori, 2003), לפיכך תכניות ההכשרה חשובות עד מאד, כי מורים זקוקים לתמיכה בשינוי

הפרקטיקות שלהם בכדי להעריך את התלמידים באופן שישקף את צרכיהם העתידיים (Birenbaum et al., 2006).

על תכניות ההכשרה להתייחס לגיוון המעריכים ושיטות ההערכה של למידה מבוססת פרויקטים. לפי החוקרים (Van den Bergh et al. (2006), באופן אידיאלי, תלמידים בסביבת למידה מבוססת פרויקטים מוערכים באמצעים נוספים (ולא רק בחינה) כגון הערכת עמיתים. הם בוחנים השקפת מנחים ותלמידים על סביבת הלמידה ועל שיטות הערכה מבוססות קבוצה, ומסיקים שקשה לייצר תהליך הערכה שלם בו קיימת הלימה בין ציפיות מנוגדות של מנחים ותלמידים. (Dori (2003) טוענת כי חוקרי הוראה אינם יכולים לכפות את אמונותיהם והשקפתם, ועליהם להתחשב בדעות של מגוון בעלי העניין בפרויקטים חינוכיים. החוקר (Montemayor (2004) הציע שימוש בהערכת מנחה, הערכה עצמית והערכת עמיתים. כל אחת מהערכות צריכה לכלול במחווה מדדים של יישום ידע, חשיבה ביקורתית, עבודה עצמית, עבודה תוך שיתוף פעולה והפגנת יכולת דיון מקצועית בנושא. חשובה במיוחד מעורבות המורים בפיתוח ההערכה משום שהם מיישמים הערכה, בונים תכניות לימודים, מפתחים למידה עצמאית בקרב התלמידים, מדווחים על התקדמות התלמידים ומבצעים את פרקטיקת ההוראה (Dori, 2003).

#### מטרות המחקר

- לבחון את רמת ואיכות יישום הוראה-למידה מבוססת פרויקטים במגמות השונות של החינוך הטכנולוגי.
- לבחון את תרומת תכנית ההכשרה בנושא השבחת עבודות גמר והערכתן להקניית ידע בהשבחה והערכה של עבודות גמר בחינוך הטכנולוגי.

#### שאלות המחקר

- מהן הפרקטיקות הדרושות ליישום למידה מבוססת-פרויקטים בכיתה, להשקפת המורים?
- מהן רמות הידע של המורים בדגש על ידע תוכן (Content Knowledge), הידע המוצהר (Declared Knowledge), הידע הפדגוגי (Pedagogy Knowledge), הידע התוכן-הפדגוגי (Pedagogical-Content Knowledge) וידע ההערכה (Assessment Knowledge)?

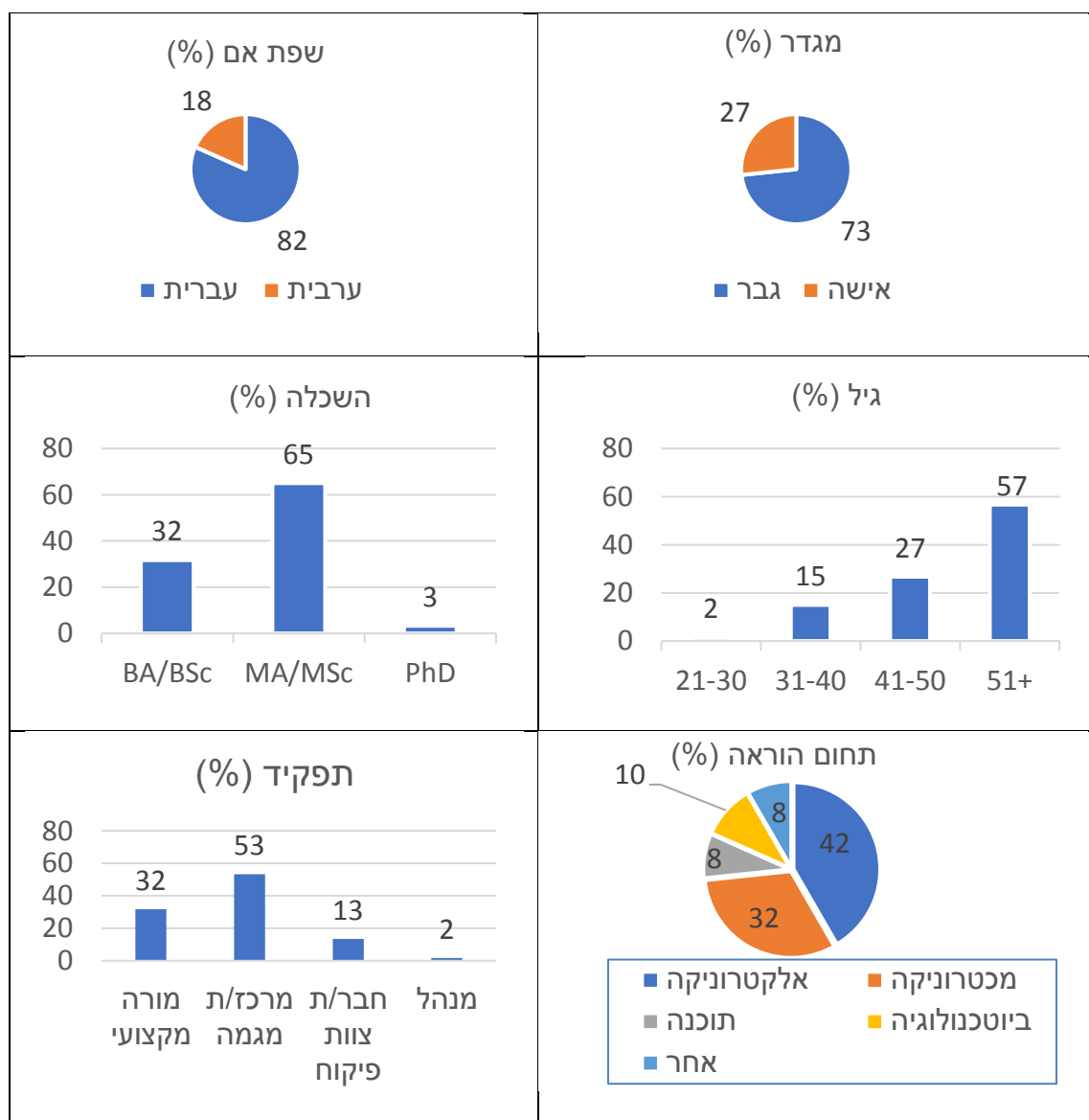
#### שיטת המחקר

קיום השתלמות בת 30 שעות בנושא השבחת עבודות גמר והערכתן בחינוך הטכנולוגי במסגרת מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים, "מור-טק", בפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה – הטכניון. ראשי פרקים מרכזיים בתכנית:

- סוגי ידע של מורים בהוראה מבוססת פרויקט טכנולוגי.
  - אתגרים וקשיים בלמידה סביב פרויקטים וביצוע עבודות גמר בחינוך הטכנולוגי.
  - דרכים להנחיית עבודות גמר והשבחתן.
  - דרכים להערכת עבודות גמר בחינוך הטכנולוגי.
- ההשתלמות כללה מפגשים פרונטליים, מפגשים מקוונים ויום עיון בהיקף משתתפים רחב (60 משתתפים) ממגמות אלקטרוניקה, מחשבים, מכונות, וביוטכנולוגיה. המפגשים הפרונטליים כללו:



פעילות סדנאית בת 18 משתתפים המשתתפים למספר מגמות לימוד, הרצאות מומחים, פעילות בקבוצות. המפגשים המקוונים התאפיינו בפעילות מקוונת ביחידים ובזוגות. דוגמאות לנושאי המפגשים שהתקיימו: חשיפה לגישות התאורטיות של סוגי ידע הנדרשים בלימוד סביב פרויקט טכנולוגי; דרכי הערכה והנחייה של פרויקטים רב תחומיים, אתגרים בהשבחת עבודות גמר בטכנולוגיה; למידה משמעותית תוך התנסות בהנדסה הפוכה ויצירה - גישה לקידום למידה משמעותית; למידה עם רובוטים חכמים ומקושרים - גישה ללימוד חווייתי של נושאים מתקדמים ברובוטיקה בעידן התעשייתי - Industry 4.0, תוך עבודה התנסותית עם ערכות רובוטיקה לימודית; שיטת (think-pair-share) TPS: איך מגדירים מפרט למוצר; זיהוי, הגדרה ואפיון של בעיות; למידה מבוססת בעיות כאמצעי ללמידה פתרון בעיות תכן.



איור 2. מאפייני המשתתפים בתכנית ההכשרה בנושא השבחת עבודות גמר והערכתן בחינוך הטכנולוגי

בדגש על ההתאמה בין פדגוגיה והערכה נדונו נושאים כגון: מחוונים מתכנן למעשה; דרכים לגיבוש צוות תלמידים לביצוע פרויקט משותף; למידה עצמית ולמידה שיתופית – דרכים למימוש ודרכים להערכה; גיבוש נושא לפרויקט ע"י צוות תלמידים; הערכה מעצבת ורפלקציה תוך צוותית כחלק מתהליך פיתוח הפרויקט; המנחה והיועץ – אפיון התפקידים ודרכי השתלבותם בצוות התלמידים המפתחים את הפרויקט.

בהשתלמות השתתפו 73% גברים, 82% דוברי עברית כשפת אם, 32% מהם בעלי תואר ראשון, 65% מהם בעלי תואר שני, במגוון גילאים, תחומי התמחות ותפקידים שונים שהם ממלאים בבתי הספר. מאפייני המשתתפים מוצגים באיור 2.

המורים בקורס התבקשו לענות על שני שאלונים (פרי ופוסט – לפני ואחרי ההשתלמות). המטרה העיקרית של השאלונים היתה הכרת הרקע האישי והמקצועי של המורים ציפיותיהם והנושאים אשר הם מעוניינים ללמוד, הערכת ידע המורים בנושאים הקשורים להערכה באופן כללי ולמידה מבוססת פרויקטים PBL באופן ספציפי, הנחיית פרויקטים, ואפיון רמות החשיבה אשר באות לידי ביטוי במהלך פיתוח הפרויקט לפני ואחרי שעברו את ההכשרה.

במהלך ההשתלמות ובסיומה המורים הגישו מטלות ביחידים, בזוגות ובקבוצות. המטרות של המטלות היו:

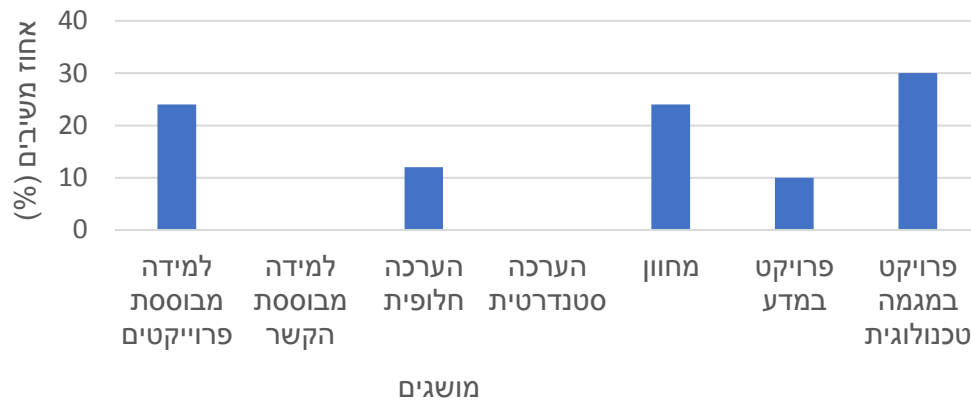
- לייצר דיון בין המורים מהמגמות השונות, בכדי לנסות יחד להעריך "כבוחנים חיצוניים" עבודות גמר באותן מגמות ולפתח יחד מחוון הערכה סטנדרטי כלומר סטנדרטיזציה של מחוון הערכה לעבודות גמר עבור בוחן חיצוני.
- לבדוק את תרומת הדיונים שעלו לאחר המטלה הכיתתית לאופן הערכת עבודת הגמר ולבדוק האם המורים יציעו קריטריונים נוספים למחווון שפותח בסבב הראשון על ידם.
- לחשוף את הנעשה בפועל בשטח בהקשר של הערכת עבודות גמר ע"י בוחנים חיצוניים כולל מחוונים קיימים אשר משתמשים בהם למטרה זו.
- לפתח מיומנות הערכה לעבודות גמר מתחום שונה ומגמה שונה מזו של המורה המשתלם המתנסה בהערכה/הנחיית פרויקט ולבדוק עד כמה הקורס תרם לפיתוח המקצועי של המורים.

עבודות התלמידים שניתחו המורים במונחי הערכה ולפי המחווון שנוצר והדגבש בהשתלמות כללו תחומים מגוונים (אלקטרוניקה, מחשבים, מכונות, וביוטכנולוגיה). רשימת עבודות הגמר שהמורים הנחו והעריכו במסגרת המטלה המקוונת כללו את העבודות הבאות: מהי השפעת מי החמצן על מנגנון ה-UPR בשמרי SC מזן WT?, Usports, מערכת בקרה למילוי מיכל מים, משחק אלקטרוני, כיצד משפיעה כמות האצה על יכולת הסינון של האצה הגנית? עגלת קניות העוקבת אחרי אדם, תכנון מערכות חשמל ובקרה למאפיה, השפעת הפפטיד AFP4 על חיות תאים ויצירת גרורות בסרטן מסוג מלנומה גרורתית, מעלית להעלאת חפצים בבניין רב קומות, Logo Detector, מכלול מעלית המרים ארגזים לגובה 2 מטר, מערכת גילוי וכיבוי אש (בקרת אש), מכבה אש אלקטרוני, תכנון מערכת חשמל לסופרמרקט, גילוי והתראה גז.

## ממצאים

א. משאלוני הפרי והפוסט שהועברו למורים עלו הנקודות הבאות:

- בחירות המשתתפים במענה לבקשה לבחור מושג אחד מהרשימה (למידה מבוססת פרויקטים, למידה מבוססת הקשר, הערכה חלופית, הערכה סטנדרטית, מחוון, פרויקט במדע, פרויקט במגמה טכנולוגית), להגדיר, להסביר ולתת דוגמה מעלות כי בעוד המשתתפים לא בחרו את המושגים "הערכה סטנדרטית" ו"למידה מבוססת הקשר", הם בחרו והדגימו גיוון מבין שאר המושגים. בחירת המשתתפים במושגים שהם הסבירו במפורט, מוצגת בגרף 1.



גרף 1. מושגים שבחרו המורים להגדיר ולהסביר

- במענה לשאלה "מה לדעתך צריך לכלול פרויקט במגמה טכנולוגית בו אתה מלמד (לציין מרכיבים ולהסביר)?", מספר ממוצע של מרכיבי פרויקט אשר ציין המורה הם 3. תשובה מורכבת שאחד המורים נתן היתה: "הצגת בעיה, מציאת דרכים לפתרון הבעיה, עריכת ניסוי, כתיבת עבודה הכוללת דיווח מדעי ובנוסף חשיבה רפלקטיבית על הפרויקט". תשובה מצומצמת של מורה אחר לדוגמא היתה "למידה רב תחומית".
- במענה לשאלה "כיצד לדעתך יש להעריך פרויקט במגמה טכנולוגית (נא לפרט)?" מספר ממוצע של קריטריוני הערכה אשר ציין המורה הם 2. תשובה מורכבת לדוגמא היתה: "הערכה בפרויקט כזה צריכה לכלול בחינת יכולת קריאה מדעית והבנת הנקרא, כתיבה מדעית ולימוד מתודולוגיות של כתיבת מאמר מדעי, מדידת היכולות הרכות של העבודה בצוות, הצגת הנושא מול עמיתים ואחר כך מול קהילה חיצונית, הצגת פוסטר מדעי לפי קריטריונים שנקבעו בעולם, בחינות בכתב ובעל פה". תשובה מצומצמת לדוגמא: "הלואי שידעת!".
- השוואה בין ידע המורים המוצהר בשאלון הפוסט לעומת הפרי במענה לבקשה לבחור מושג אחד מהרשימה (למידה מבוססת פרויקטים, למידה מבוססת הקשר, הערכה חלופית, הערכה סטנדרטית, מחוון, פרויקט במדע, פרויקט במגמה טכנולוגית) מוצגת בטבלה 1.

טבלה 1. השוואה בין ידע המורים המוצהר לגבי נושאים הקשורים ללמידה מבוססת פרויקטים והערכה בשאלונים פרי/פוסט (שאלון פרי (N=17), שאלון פוסט (N=11))

נושא / אחוז		במידה רבה עד רבה מאוד		במידה בינונית		במידה מועטה	
פרי (%)	פוסט (%)	פרי (%)	פוסט (%)	פרי (%)	פוסט (%)	פרי (%)	פוסט (%)
65	63.7	23.5	36.4	11.8	---	---	---
59	45.5	23.5	27.3	5.9	18.2	11.8 + ענו כלל (לא)	---
77	72.7	11.8	18.2	11.8	9.1	---	---
82	81.1	5.9	9.1	11.8	9.1	---	---
76	72.8	11.8	27.3	11.8	---	---	---
53	45.5	17.6	45.5	17.6	9.1	17.6 + 11.8) ענו כלל (לא)	---
76	9	17.6	9.1	5.9	---	---	---

לפי הטבלה הנ"ל ניתן להבחין בנקודות הבאות:

1. כמעט אין הבדל משמעותי בין שני השאלונים לגבי אחוזי ידע המורים המוצהר בנושאים הנ"ל במידה רבה עד מידה רבה מאוד מלבד בשני המקרים הבאים: למידה מבוססת הקשר 59% בפרי לעומת 45.5% בפוסט (ירידה מהצפוי), ושיפור משמעותי בידע בנושא פרויקט במגמה טכנולוגית 76% בפרי לעומת 91% בפוסט.
  2. נמצא שיפור בידע המורים המוצהר במיוחד במידה מועטה עד מידה בינונית בכל הנושאים מלבד הנושא למידה מבוססת הקשר שכמעט ולא נמצאו הבדלים בין שני השאלונים.
- במענה לבקשה בחירת מושג מהנושאים הנ"ל להגדיר להסביר ולתת דוגמא בשאלון הפוסט ובהשוואה עם הממצאים של שאלון הפרי, ניתן להבחין בכך, שישנו יותר גיוון במושגים שהמורים בחרו בהם בכדי להגדירם או להסבירם, כגון: הערכה סטנדרטית ולמידה מבוססת הקשר. ההסברים של המורים והדוגמאות שנתנו בתגובות שלהם היו יותר מדויקים מבחינת ההסבר המדעי והשימוש בשפה המדעית בהשוואה לאלו שהתקבלו בשאלון הפרי, כגון:
 

"למידה מבוססת הקשר - לימוד נושא מסוים בהקשר לעולם הילד, למשל לימוד תקשורת בהקשר לטלפון הסלולארי."

"מחווה - הצעה להערכת מבחן או עבודה הכוללת ניקוד לכל סעיף בהתאם לחלוקה מוסכמת."

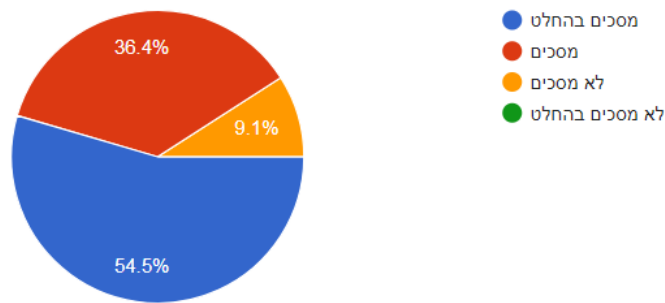
"הערכה סטנדרטית: לא מתאימה יותר לעולם המודרני והמתקדם. האדם (התלמיד) נבחן בהרבה יותר תחומים שניתן לבדוק רק בבחינה בכתב."

למרות זאת, עדיין ניסוחי ההסברים שהמורים רשמו במרבית המקרים היו חסרי פירוט ומתן דוגמאות והגדרה מדויקת למושגים. היו תשובות שבהן המורה הסתפק בכך שרשם רק את שם הנושא ותשובות שאינן כוללות הגדרה ספציפית והקישור של המושג למגמה שבה מלמד אותו המורה:

*"פרויקט במגמה טכנולוגית - ביצוע פרויקטים באלק' במערכות אלק'."*

*"פרויקט במגמה טכנולוגית, לבנות פרויקט מבוסס ארדואינו במגמת 5 יחידות."*

- במענה לבקשה לפרט כיצד יש להעריך פרויקט במגמה טכנולוגית בה המורה מלמד ובהשוואה בין שאלון הפרי לפוסט (שאלון פרי (N=17), שאלון פוסט (N=11)) מתגובות המורים עולות הנקודות הבאות:
  - חלק מהתגובות אינן רלוונטיות: "בוודאי".
  - יש להעריך את הפרויקט על סמך קריטריונים שונים ומחווין מפורט.
  - ישנם מורים שפרטו את הקריטריונים שלפיהם יש להעריך את הפרויקט למרות שלא הזכירו המילה מחווין או קריטריון:
    1. יש לתת הערכה לאורך תהליך ביצוע הפרויקט בכדי להעריך תרומת ומעורבות התלמיד בפרויקט.
    2. הערכת החלק התיאורטי והמעשי והבנת החומר הנלמד במהלך הפרויקט. למרות זאת התשובה של המורה אינה מפורטת מה יכלול חלק התיאורטי או החלק המעשי.
    3. עבודת צוות, ידע התלמידים בפרויקט, דרך העבודה.
    4. המורכבות של הפרויקט, רפלקציה, חלופות פתרון לבעיה.
    5. חדשנות, יצירתיות, יישום חברתית, יכולת לימוד.
    6. תהליך ביצוע הפרויקט, איכות המוצר הסופי, מיומנויות שהתלמיד רוכש.
    7. בחלק מהתגובות התייחסו לפרמטרים ספציפיים בפרויקט שקשור למגמה מסוימת.
- מהשוואת תגובות המורים לאותו היגד בשאלון פרי לעומת הפוסט ניתן להבחין בכך שהמורים השתמשו יותר במושגים שאכן מתארים הערכה של פרויקט (מחווין/קריטריונים), ואם לא אז הזכירו פרמטרים כלומר את המושג "קריטריונים" מגוונים שניתן לפיהם להעריך את הפרויקט, (שיפור יחסי בידע בהערכה).
- במענה להיגד בשאלון הפוסט "אני יודע איך להנחות תלמידים כך שהפרויקט יפתח את החשיבה שלהם", רוב המורים מסכימים שאכן הם יודעים כיצד להנחות תלמידים כך שהפרויקט יפתח את החשיבה של תלמידיהם (רק מורה אחד בלבד ציין שאינו מסכים) איור 3.



איור 3. תגובות המורים לעד כמה הם מסכימים להיגד שלפיו הם יודעים איך להנחות תלמידים כך שהפריקט יפתח את החשיבה שלהם (N=11)

להלן דוגמאות לחלק מתגובות המורים:

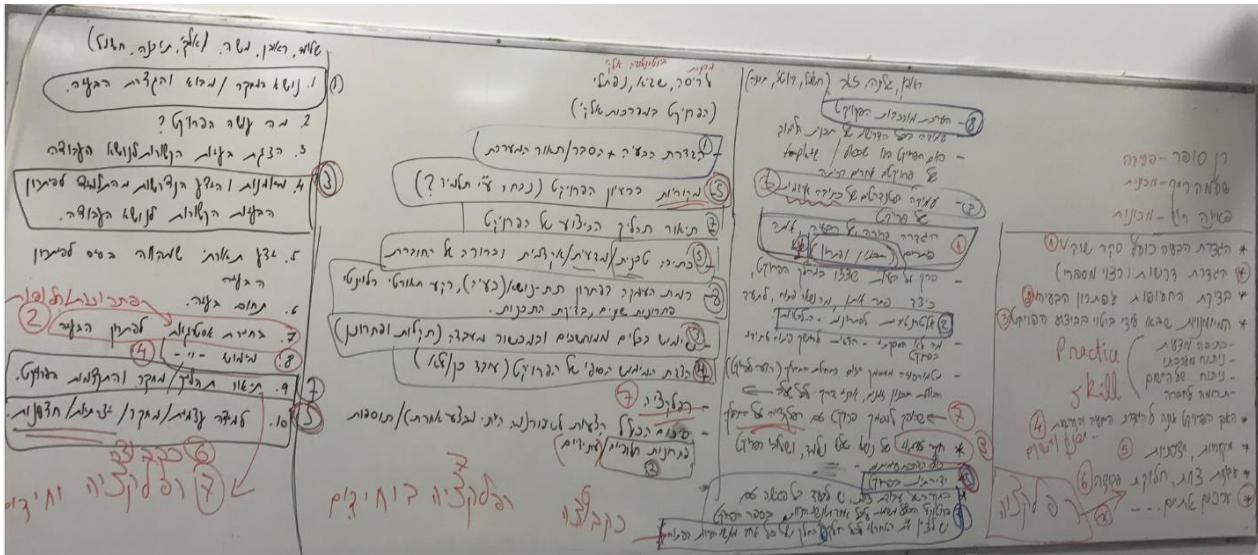
*"התלמיד מחליט לבד, איזה פרויקט הוא רוצה, מתייעץ איתי ולאט לאט מתחיל לחפש מידע וידע על הפרויקט, על הרכיבים, על החיישנים."*

*"אני אומרת להם לחשוב לבד על נושא שהם רוצים לעשות אחר כך נדון על נושא [זה] באופן חופשי נחפש באינטרנט פתרונות ו {יחד אנחנו} חושבים על פתרונות מקוריות."*

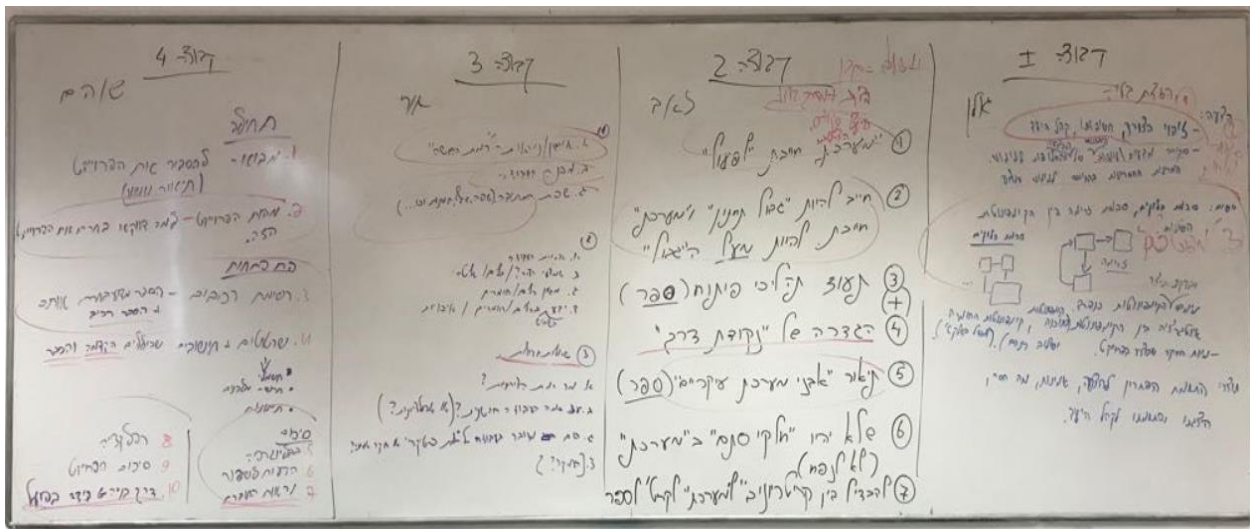
*"לדוגמא, כיצד לבחור ציוד מתאים וכיצד לרכוש אותו."*

רב המורים תארו את תהליך הנחייתם את התלמידים שלהם ע"י מתן דוגמאות למשימות המבוצעות במהלך הפרויקט אשר מתאפיינות ברמות חשיבה שונות. חלק מהתגובות לא היו מפורטות מספיק. בחלק אחר המורים התייחסו לאילוצים לימודיים ואילוצי זמן אשר מגבילים אותם בהנחיית תלמידיהם בצורה כזו שתגרום להם חשיבה מעמיקה.

ב. במסגרת הפעילות הסדנאית המשתתפים פעלו בקבוצות קטנות בשתי כיתות לימוד: כ-4 קבוצות בנות 2-3 משתתפים בכל אחת מהכיתות. במסגרת הפעילות מנחי הסדנאות רשמו את כלל הקריטריונים להערכת עבודות גמר אשר המורים העלו על לוחות הכיתות. תצלומי הלוחות מצורפים כאיורים 4 ו-5.



איור 4. תצלום לוח הפעילות בסדנה א: הקריטריונים שהוגדרו כמשותפים מסומנים במלבן



איור 5. תצלום לוח הפעילות בסדנה ב: הקריטריונים שהוגדרו כמשותפים מסומנים בעיגול

רשימת הקריטריונים המשותפים אשר עלו מהפעילות הסדנאית היא:

- הגדרת ואפיון הבעיה;
- חלופות/אסטרטגיות לפתרון הבעיה/סיעור מוחות, העלאת רעיונות חדשים, הגדרת מפרט פתרון הנבחר ותיעוד;
- מיומנויות שבאות לביטוי בביצוע הפרויקט / skills / practises מגוון מיומנויות וכלים בביצוע הפרויקט;
- תכנון ויישום: האם הפרויקט תוכנן לפי הגדרת הבעיה ומסמך הדרישות ויושם בהתאם; מערך ניסויים ובדיקות;
- רפלקציה קבוצתית - עבודת צוות וחלוקת תפקידים בבצוע הפרויקט;
- רפלקציה יחידנית - במה אני תרמתי לקבוצה ומה הקבוצה תרמה לי/הערכה עצמית לביצוע הפרויקט רצוי לעומת מצוי;

- יצירתיות/יזמות/חדשנות/מקוריות: פרויקט רב/בין תחומי; ידע חדש בתחום עצמו שלא נלמד בכיתה/שימוש בכלי חדש; ערך חברתי; יישום תעשייתי; ערך רלוונטי.

ג. במפגש השני של ההשתלמות, המורים התבקשו לבצע מטלה מקוונת ולהגיש בצורה יחידנית. כל מורה התבקש להעריך עבודת גמר שהנחה בעצמו בהתייחס לספרות המקצועית והדיונים שעלו במסגרת הפעילות הסדנאית שבה נקבעו הקריטריונים להערכת עבודת גמר בחינוך הטכנולוגי. מטרת משימה זו היו:

- לבדוק את תרומת הדיונים שעלו לאחר הפעילות הסדנאית לאופן הערכת עבודת הגמר שהמורים הנחו בעבר מנקודת מבט של בוחן חיצוני;
- לבדוק האם המורים יציעו קריטריונים נוספים בנוסף לאלו שהועלו בפעילות הסדנאית;
- חשיפה/סריקה של הנעשה בפועל בשטח בהקשר של הערכת עבודות גמר ע"י בוחנים חיצוניים כולל מחוונים קיימים.

רב המורים המשתתפים בקורס הגישו את המטלה המקוונת (15 מתוך 18). ממוצע ציוני המורים במטלה זו היה 81.2. המטלות המקוונות שהוגשו ע"י המורים עברו הערכה ע"י 4 מעריכים למתן ציון ולאחר מכן תיקוף.

הנקודות שעלו מבדיקת המטלות המקוונות שהמורים הגישו:

- רוב המורים תיארו את המיומנויות והידע שהתלמיד מיועד לרכוש, תרומת העבודה מבחינה חברתית, סביבתית, מדעית או טכנולוגית, רלוונטיות הנושא לטכנולוגיה העכשווית, הסביבה הלימודית מבחינת חומרה, תכנה ומרחב עבודה ע"י שימוש במושגים כללים ופחות רלוונטיים לתוכן העבודה המוערכת.
- המורים לרוב התייחסו לידע תוכן הקשור ללימודי המגמה אשר תלמיד מיועד לרכוש במהלך הפרויקט. כנ"ל לגבי נקודות לשימור/לשיפור. מעט מורים התייחסו למיומנויות כגון: מיומנויות חקר, ניהול צוות/משימות, עבודה קבוצתית וחלוקת תפקידים, ניהול זמן, שימוש בכלי ושיטות מחקר מתקדמים.
- פחות דגש על יצירתיות, חדשנות, יזמות ושיתופי פעולה עם אקדמיה/תעשייה או רלוונטיות לחברה ושיטות מחקר מתקדמות.
- במרבית המקרים לא הייתה התייחסות לצינון והערכה נכונים/מדויקים לעבודות הגמר שהנחו המורים וללא התייחסות למדרג המבוקש מ 0 עד 3. רק שליש מהמורים ענו על דרישה זו.
- חלק מהמורים התייחסו לנקודות הבאות בכדי לשפר את תהליך ההערכה: תיעוד ביצוע הפרויקט על כל מרכיביו (תיעוד מקוון) שבו מעורבים התלמיד, המורה והבוחן החיצוני בכדי שההערכה תהיה תואמת את השקעת התלמיד וביצועיו לאורך הפרויקט, היתרון שקיים בלהיצמד למחונן עם "מספר הגיוני" (ולא עשרות קריטריונים) של קריטריונים מפורטים, יש לתת משקל גבוה בציון הסופי של הפרויקט להערכת המורה מנחה הפרויקט בהשוואה להערכת הבוחן החיצוני, הערכת עמיתים.
- רק 3 מורים צירפו מחוונים מפורטים והתייחסו לקריטריונים שפותחו בפעילות הסדנאית.



השאר לא התייחסו כלל או התייחסו באופן כללי לתהליך ההערכה.

- נקודות לשיפור בעבודות הגמר: רפלקציה, שיתוף עם אקדמיה/תעשייה/קהילה, מורכבות, מקוריות, ביצוע פרויקטים רב ובין תחומי, ביצוע פרויקטים ברמות חשיבה גבוהות (לפי בלוס/PST).

- המורים הציגו קריטריונים "חדשים", כגון: עבודת צוות, רפלקציה יחידנית וקבוצתית, תיעוד כל תהליכי הפרויקט, בחינת הגנה פנימית, הערכת מורה. הייתה התייחסות ל-3 סוגי הערכה: הערכת התלמיד עצמו את ביצועיו במהלך הפרויקט והמיומנויות שכדאי שהוא/היא ירכשו, הערכת העבודה עצמה (מורכבות והתאמה של נושא העבודה להתמחות ונראות אסתטית), הערכת תיעוד הפרויקט בשלבים (משלב הגשת הצעת הפרויקט עד סיומו ע"י תיעוד מקוון ללא צורך בספר פרויקט).

ד. לא הייתה התייחסות למקורות ספרותיים, ומעט מהמורים התייחסו לקריטריונים שעלו בסדנה במסגרת המטלה המסכמת של ההשתלמות, המורים התבקשו להתפלל לזוגות הטרוגניים (בהיבט של תחומי הדעת), לבחור 3 עבודות גמר ממגמות שונות (העבודות מוצגות בעמוד 10) וביחד לנתח אותן מבחינת: מטרות, מיומנויות וכו', להעריך אותן לפי המחווה שפותח בסדנאות, להוסיף פירוט עבור הקריטריונים, לנמק כיצד חושב הציון שנתנו, למצוא את השונה והדומה בין העבודות ממגמות שונות, ולהציע שיפור למחווה שפותח. המטרה העיקרית של משימה זו הייתה ליצור סטנדרטיזציה בין המגמות, פיתוח מיומנות הערכה לעבודות גמר מתחום שונה ומגמה שונה מזו של המורה המשתלם המתנסה בהערכה/בהנחיית פרויקט ולבדוק עד כמה הקורס תרם לפיתוח המקצועי של המורים. המטלות שהוגשו ע"י המורים עברו הערכה ע"י 4 מעריכים למתן ציון ולאחר מכן תיקוף. הממצאים שעלו הם כדלקמן:

- ממוצע ציוני המורים במטלה המסכמת הינו 85 (N=14 מתוך 18).
- רב המורים התייחסו לידע ולמיומנויות תוכן בלבד הקשורים לנושאי העבודות המוערכות, למעט שני זוגות, שהתמקדו גם במיומנויות, כגון: חקר, מיומנות חברתית, מיומנות ניהול. זוג אחר התייחס באופן כללי לפי מה שמופיע באתר המגמה, היו כאלה שלא התייחסו בכלל לסעיף זה.
- חסרה התייחסות לנימוק הקריטריונים ברוב המטלות המסכמות שהוגשו ע"י המורים. רק זוג ואחד בלבד אכן התייחס לדרישה זו, אך הנימוקים לקו באי-דיוק ולא היו ספציפיים.
- חסרה אינטגרציה מבחינת הערכת העבודות וצינון משותף, וגם לפעמים לא במדרג הנכון והמבוקש או הערכה נכונה.
- לגבי שיפור המחווה היו דעות מגוונות:
  1. קריטריונים חדשים שיש להוסיף למחווה שפותח:
    - קריטריון המעריך את נראות העבודה (אסטטיקה), חלוקה לפרקים, רמת כתיבה, ביבליוגרפיה וסדר היררכי של העבודה.
    - רמת העמקה.
  2. יש להתחשב בכך שחלק מהעבודות הן תיאורטיות בלבד ואין בהם חלק מעשי, ומכאן שאי אפשר להעריך את שיטות ואופן בניית המערכת.

3. התייחסות ספציפית למחווה במגמת הנדסת אלקטרוניקה, לטענת המורים: "יש לתקן ולשפר את מטרות העבודה מבחינת התוצר הסופי המבוקש, הידע והמיומנויות שהתלמיד מיועד לרכוש כפי שהן מופיעות במסמך הנחיות לביצוע עבודת גמר בהיקף של 5 יח"ל במגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים בחטיבה העליונה" וליישר קו עם קריטריונים ההערכה שפותחו בהשתלמות. המצב הקיים מכיל רשימה מינימלית של מרכיבים בפרויקט המאפשרים ציון גבוה למי שעומד בדרישות המינימום ובכך מעודדים בינוניות (ונקודות נוספות שנועדו להקל על המורים כגון: מספר פרויקטים זהים וכו'). "יש לקבוע מטרות חדשות דרישות המעודדות פרויקטים פתוחים ומחקריים המצריכים עבודת צוות בפתרון פרויקטים בקנה מידה גדול יותר מהנהוג היום."

### דיון ומסקנות

במחקר זה הראנו כיצד ניתן לבצע מחקר בקרב קבוצה מגוונת, כשחבריה מהווים מורים מובילי שינוי בתחום הנחיית והערכת פרויקטי גמר. ע"פ הממצאים שהתקבלו משאלוני הפרי והפוסט, מהפעילות הסדנאית וממטלות ההשתלמות, ניכר שאכן תכנית ההכשרה הייתה חיונית ומשמעותית להעשרת ידע המורים בתחום למידה מבוססת פרויקטים ולהתנסותם בהערכת פרויקטים מגוונים ממגמות שונות. ההשתלמות הייתה חשובה לפיתוח מחווה סטנדרטי להערכת עבודת הגמר עבור בוחן חיצוני, שכולל מספר מצומצם של קריטריונים משותפים ל-4 המגמות: ביוטכנולוגיה, אלקטרוניקה, הנדסת תוכנה ומכונות, ועוד שניים ייחודיים לכל מגמה. רב גדול של המורים התקשו להציע או לספק ואפילו לרשום נימוקים עבור כל הקריטריונים המשותפים ולא הציעו עוד קריטריונים מעבר לאלה שעלו בדיונים בפעילות הסדנאית. נדרשות עוד תכניות הכשרה בנושא הנחיית תלמידים בפרויקט גמר בצורה כזו שתאפשר פיתוח חשיבה ברמה גבוהה והדגמת תהליכי פיתוח של משימות ברמות חשיבה מגוונות לפי בלום/PST שניתן להעביר לתלמידים להשגת מטרה זו. נדרשת תכנית להטמעת תהליך הערכת והשבחת פרויקטי הגמר בבית הספר של המורים שהשתתפו בהשתלמות והרחבה לבתי ספר אחרים בהמשך. נדרשים שיתופי פעולה הדדיים בין התעשייה, האקדמיה ומכוני המחקר השונים לבין בתי הספר במטרה להעלות את הרמה האקדמית של פרויקטי הגמר ולהקנות להם אופי של יצירתיות חדשנות ויזמות. נדרש תיעוד מקוון של התהליך של ביצוע פרויקט הגמר משלביו הראשוניים ועד סיומו, כולל הערכה צמודה למחווה מוגדרים היטב בכל השלבים שבהם מעורבים התלמיד, המורה מנחה הפרויקט והבוחן החיצוני.

### מגבלות המחקר ותרומתו

מגבלת המחקר היא כי המורים אשר לקחו חלק בפיתוח המקצועי נבחרו על ידי רכזי המחלקות כמורים מובילים. לפיכך, הביצועים שלהם בשלבים השונים של המחקר עשויים שלא לשקף את הביצועים של המורה להנדסה הממוצע.

תרומותיו של מחקר זה הן: (1) הנחיות לפיתוח, לתיקוף וליישום ערכת כלי הדרכה של למידה מבוססת פרויקטים; (2) פיתוח ותיקוף מחווה להערכת פרויקטי גמר; (3) הצעד הראשון בהקמת קהילה מקצועית של מנחי למידה מבוססת פרויקטים ומעריכים של פרויקטים אילו; (4) הוכחה כי מורים, ללא קשר לרקע האישי והמקצועי שלהם, יכולים לשתף פעולה בצורה יעילה ולהפיק תוצאות המסיעות לקידום המדע וההנדסה.

## המאמר מתבסס על:

Shwartz-Asher, D., Reiss, S. R., Abu-Younis, A. A., & Dori, Y. J. (2019). Engineering Teachers' Assessment Knowledge in Active and Project-Based Learning. In Mintzes, J. J. & Walter E. M. (Eds.) *Active Learning in College Science: The Case for Evidence-Based Practice, Section V. Restructuring Whole Class Interactions*, chapter 30.

## מקורות

Avargil, S., Herscovitz, O., & Dori, Y. J. (2012). Teaching thinking skills in context-based learning: Teachers' challenges and assessment knowledge. *Journal of Science Education and Technology*, 21(2), 207-225.

Birenbaum, M., Breuer, K., Cascallar, E., Dochy, F., Dori, Y., & Ridgway, J. (2006). A learning integrated assessment system. *Educational Research Review*, 1, 61-67.

Capraro, R. M. & Slough, S. W. (2008). Why PBL? Why STEM? Why now? An introduction to project-based learning: An integrated science, technology, engineering, and mathematics (STEM) approach. In R. M. Capraro & S. W. Slough (Eds.), *Project based learning: An integrated science technology engineering and mathematics (STEM) approach* (pp. 1-6). Rotterdam: Sense.

Connors-Kellgren, A., Parker, C. E., Blustein, D. L., & Barnett, M. (2016). Innovations and challenges in project-based STEM education: Lessons from ITEST. *Journal of Science Education and Technology*, 25(6), 825-832.

Dori, Y. J. (2003). A framework for project-based assessment in science education. In M. Segers, F. Dochy, & E. Cascallar (Eds.), *Optimizing new modes of assessment: In search of qualities and standards*, 89-118. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.

Juarez-Ramirez, R., Jime Nez, S., Huertas, C. & Navarro, C. X. (2017). Promotion and Assessment of Engineering Professional Skills: A Project-Based Learning Approach in Collaboration Academy-Industry. *International Journal of Engineering Education*, 33, 6(B), 2033-2049.

Koehler, M. J., Mishra, P., & Yahya, K. (2007). Tracing the development of teacher knowledge in a design seminar: Integrating content, pedagogy, and technology. *Computers and Education*, 49(3), 740-762.

Montemayor, L. L. E. (2004). Formative and summative assessment of problem-based learning tutorial session using a criterion-referenced system. *JIAMSE*, 14, 8-14.

Shulman, L. S. (1986). Those who understand: A conception of teacher knowledge. *American Educator*, 10(1), 9-15, 43-44.

Thomas, J. W. (2000). A review of research on project-based learning

Van den Bergh, V., Mortelmans, D., Spooren, P., Van Petegem, P., Gijbels, D., & Vanthournout, G. (2006). New assessment modes within project-based education-the stakeholders. *Studies in educational evaluation*, 32(4), 345-368.

Verner, I., M. & D. Ahlgren (2007): "Robot Projects and Competitions as Education Design Experiments", *Intelligent Automation and Soft Computing, Special Issue "Global Look at Robotics Education"*, 13(1), 57-68.

## עמדות סטודנטים להנדסת חשמל כלפי מעבדת חקר באלקטרוניקה

ד"ר אהרון גרו ובטו כץ  
הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה  
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

ד"ר ניסים סבאג  
המחלקה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה  
המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה

### תקציר

במעבדת החקר סטודנטים מתכננים ומבצעים ניסויים באופן עצמאי ומפתחים יכולת פתרון בעיות ומיומנויות עבודה בצוות. המחקר המתואר במאמר אפיין באמצעות כלים איכותניים את העמדות של סטודנטים להנדסת חשמל בסמסטר החמישי ללימודיהם כלפי הקורס "מעבדת חקר באלקטרוניקה". קורס זה הוא הראשון בתכנית הלימודים שבו הסטודנטים נחשפים ללמידת חקר ומתנסים בעבודת המהנדס כפי שזו מתבצעת בתעשייה. על פי הממצאים, רוב הסטודנטים מזהים יתרונות הגלומים בקורס, כמו, למשל, חשיפה ראשונית למאפייני עבודת המהנדס והתנסות בעבודת צוות. אולם, לצד יתרונות אלה, הסטודנטים מצביעים גם על אתגרים הכרוכים בקורס, כמו, הסתגלות ללמידה עצמאית והתמודדות עם בעיות מורכבות. המאמר מציע מספר דרכים בכדי להתמודד בהצלחה עם אתגרים אלה.

### מבוא

במעבדת החקר סטודנטים מתכננים ומבצעים ניסויים באופן עצמאי (Alam, Hadgraft, & Subic, 2014). זאת בניגוד למעבדה המסורתית, בה הסטודנטים ממלאים אחרי הוראות תדריך הניסוי, בדרך כלל בכדי לאשר תוצאה צפויה מראש (Hofstein & Lunetta, 2004). במעבדת החקר הסטודנטים פותרים בעיות, מתנסים בעבודת צוות (Fonteijs, 2015), ומפתחים מיומנויות חשיבה מסדר גבוה (Feisel & Rosa, 2005). למרות הפוטנציאל הגלום בשימוש במעבדת חקר בחינוך ההנדסי, המחקר בנושא מצומצם למדי ומתמקד בהישגים לימודיים (Litzinger, Lattuca, Hadgraft, & Newstetter, 2011). כך, לדוגמא, סטודנטים להנדסת חשמל, שהשתתפו במעבדת חקר בעיבוד אותות, דיווחו על שיפור ביכולת התכנון של מסנני תדר (Bhatti & McClellan, 2011). המחקר המתואר במאמר עסק בקורס "מעבדת חקר באלקטרוניקה", הניתן במכללה מובילה בישראל. קורס זה, המיועד לסטודנטים להנדסת חשמל בשנה השלישית, הוא הקורס הראשון בתכנית הלימודים שבו הסטודנטים נחשפים ללמידת חקר ומתנסים בעבודת המהנדס. המחקר אפיין באמצעות כלים איכותניים את עמדות הסטודנטים כלפי הקורס. ממצאי המחקר והמסקנות העולות ממנו עשויים לתרום לגוף הידע הדל יחסית העוסק במעבדת חקר בחינוך ההנדסי ולתרום לשיפור ההכשרה של בוגרי תואר ראשון בהנדסה. התובנות ממחקר זה עשויות להיות רלוונטיות גם ברמה התיכונית והן בעלות פוטנציאל יישומי במגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים.

### מעבדת חקר באלקטרוניקה

הקורס "מעבדת חקר באלקטרוניקה" הוא קורס חובה לסטודנטים בסמסטר חמישי הלומדים לתואר ראשון בהנדסת חשמל. הקורס שאורך ארבעה-עשרה שבועות (ארבע שעות שבועיות) מעניק שתי

נקודות זכות. הקורס עוסק בשלושה תחומים: מערכות ספרתיות, אלקטרוניקה אנלוגית ואלקטרוניקה דיגיטלית.

בתום הקורס הסטודנט אמור להיות מסוגל:

- לנסח בעיה פתוחה כמפרט הנדסי;
- לתכנן מעגל אלקטרוני העונה על דרישות המפרט;
- לממש את המעגל האלקטרוני;
- לתכנן ניסויים לבדיקת עמידה בדרישות המפרט;
- לבצע ניסויים לבדיקת עמידה בדרישות המפרט;
- להשוות את תוצאות הניסויים לדרישות המפרט;
- לדווח בכתב על מהלך הניסוי, תוצאותיו ומסקנותיו.

במהלך הקורס הסטודנטים מתנסים בפתרון בעיות בצוותים של שנים-ארבעה סטודנטים. את הצוותים מנחה מורה שהינו מהנדס חשמל בעל ניסיון רב-שנים בתעשייה ובעל הכשרה אקדמית בהוראה, לרבות למידה מבוססת בעיות. כפי שנהוג בלמידה מסוג זה, המורה תומך בסטודנטים באמצעות שאלות מנחות ומתן משוב, כך שהסיוע משמעותי יותר בתחילת הקורס ופוחת בהמשכו (Savery, 2006). בתחילת הקורס המורה מדריך את הסטודנטים כיצד יש לנסח מפרט ומציג את מבנה הדוח המסכם והמחווון להערכתו.

במהלך הקורס כל צוות מתמודד עם שתי בעיות בסדר קושי עולה, ומקדיש לכל אחת מהן שבעה שבועות. הבעיות הן מורכבות ופתוחות, אולם בו בזמן גם מציאותיות ותואמות את היכולת של הסטודנטים (Hmelo-Silver, 2004). הבעיה הראשונה מתמקדת במערכות ספרתיות והבעיה השנייה היא בין-תחומית ומשלבת אלקטרוניקה אנלוגית עם אלקטרוניקה דיגיטלית. הבעיות נכתבו על ידי מורה הקורס ותוקפו על ידי שני מומחים בחינוך הנדסי. הציוד העומד לרשות כל צוות כולל רכיבים אלקטרוניים וציוד מדידה. בתום פתרון כל בעיה, הצוות מגיש דו"ח מסכם שכולל את תיאור הבעיה והפתרון שנבחר, מהלך הניסויים, תוצאות ומסקנות.

### מערך המחקר

המחקר אפיין עמדות סטודנטים כלפי הקורס "מעבדת חקר באלקטרוניקה". במחקר נטלו חלק ארבעה-עשר סטודנטים להנדסת חשמל במכללה מובילה בישראל. גיל הסטודנטים נע בין עשרים לבין שלושים שנה. לסטודנטים היה ניסיון קודם בעבודת צוות שאותו רכשו במהלך קורס יחיד במעבדה מסורתית, אולם לא היה להם ניסיון במעבדת חקר. בסיום הקורס הסטודנטים השיבו על שאלון אנונימי פתוח, ובנוסף נערכו עימם חמישה ראיונות חצי-מובנים. השאלון והראיון עסקו בעמדות הסטודנטים כלפי הקורס. באמצעות ניתוח תוכן (Hsieh & Shannon, 2005), הנתונים האיכותניים סווגו לקטגוריות.

### ממצאים

רוב הסטודנטים (57%) מזהים שני יתרונות מרכזיים בקורס, חשיפה לעבודת המהנדס בתעשייה והתנסות בעבודת צוות:

"[בעקבות הקורס] הראייה שלי על עבודת המהנדס השתנתה... שינוי תפיסה בראש" (ראיון)

"אני חושבת שזה [הקורס] ייתן לי כלים לעתיד... ניסיון בעבודה עם צוות" (שאלון)

ארבעים ושניים אחוזים מהסטודנטים מאמינים שהתמודדות עם קשיים הנדסיים הכרוכים בביצוע המטלות בקורס עשויה לסייע להם בעבודתם העתידית:

"אני לומד להתמודד עם העובדה שלא תמיד הכל יעבוד כמו שרוצים ובצורה הכי מושלמת" (שאלון)

"הקורס הזה הוא שונה מכל הקורסים באלקטרוניקה... מלמדים אותך מה התקלות שיכולות להיות בדרך, דברים שלא מלמדים [בקורסים אחרים]... וזה חשוב לפרקטיקה" (ראיון)

לצד יתרונות אלה, הסטודנטים מזהים אתגרים הגלומים בקורס. כמחצית מהסטודנטים מתקשים להסתגל ללמידה עצמאית ולהתמודד עם פתרון בעיות מורכבות:

"בשלב הראשון של התכנון דווקא צריך יותר מעורבות [של המנחה], יותר מיקוד... גם יותר הסברים כללים לפני שמתחילים בדיקה... [הסברים] יותר לעומק" (ראיון)

"[הקורס] היה קשה כי פעם ראשונה שמטילים עלינו בעיות מורכבות" (שאלון)

בנוסף, חלק מהסטודנטים מתקשים לתפקד היטב בצוות (42%) ומציינים שהקורס מחייב אותם להשקיע משאבים רבים מאוד (36%):

"שלושה [מבין חברי הצוות] עבדו מצוין ואחד כמעט ולא עשה כלום... הוא פשוט לא היה בקורס" (ראיון)

"כמות ההשקעה שנדרשה ממני הייתה עצומה ביחס למצופה. [לא ידעתי] שצריך להשקיע כל כך הרבה לקורס של שתי נקודות" (שאלון)

## דיון ומסקנות

הממצאים מצביעים על קיומו של מרכיב הכרתי בעמדות סטודנטים, אשר מתייחס הן ליתרונות והן לאתגרים הקיימים בקורס. בנוגע לאחרונים, מומלץ לשקול לאמץ את ההמלצות הבאות:

- התנסות בלמידה עצמאית בשלבים מוקדמים יותר של תכנית הלימודים (Mitchell & Smith, 2008);
- חשיפת הסטודנטים לעבודת צוות מוקדם יותר (Hung, 2011);
- חשיפת הסטודנטים לבעיות אתגריות, אך לא אתגריות מדי (Gero, Stav, & Yamin, 2016);
- הארכת הקורס הסמסטריאלי הקיים לקורס שנתי, במטרה לאפשר למשתתפים להסתגל במהלכו ללמידה עצמאית.

חשוב לציין שגודלה הפיסי של המעבדה הגביל את מספר המשתתפים במחקר. אולם, למרות זאת אנו סבורים שתרומתו התאורטית של המחקר היא באפיון עמדות סטודנטים כלפי מעבדת חקר

באלקטרוניקה. למיטב ידיעתנו, אפיון שכזה בוצע כאן לראשונה. מההיבט המעשי, תרומת המחקר עשויה להתבטא בישום הממצאים לטובת שיפור ההוראה והלמידה בקורסים דומים.

מאמר זה מתבסס על:

Gero, A., Catz, B., & Sabag, N. (2018). Inquiry-based electronics laboratory: Students' attitudes. *Proceedings of the 28th Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering* (pp. 1-4). IEEE.

## מקורות

- Alam, F., Hadgraft, R., & Subic, A. (2014). Technology-enhanced laboratory experiments in learning and teaching. *Using Technology Tools to Innovate Assessment, Reporting, and Teaching Practices in Engineering Education*, IGI Global.
- Bhatti, P. T., & McClellan, J. H. (2011). A cochlear implant signal processing lab: Exploration of a problem-based learning exercise. *IEEE Transactions on Education*, 54(4), 628–636.
- Feisel, L. D., & Rosa, A. J. (2005). The role of the laboratory in undergraduate engineering education. *Journal of Engineering Education*, 94(1), 121–130.
- Fontejn, H. (2015). Making students responsible for their learning - Empowering learners to build shared mental models. *Transformative Perspectives and Processes in Higher Education, Advances in Business Education and Training*, 6, 49–74.
- Gero, A., Stav, Y., & Yamin, N. (2016). Increasing motivation of engineering students: Combining "real world" examples in a basic electric circuits course. *International Journal of Engineering Education*, 32(6), 2460–2469.
- Hmelo-Silver, C. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Physiology Review*, 16(3), 235–267.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28–54.
- Hsieh, H., & Shannon, S. (2005). Three approaches to qualitative content analysis. *Qualitative Health Research*, 15(9), 1277–1288.
- Hung, W. (2011). Theory to reality: A few issues in implementing problem-based learning. *Educational Technology Research and Development*, 59(4), 529–552.
- Litzinger, T. A., Lattuca, L. R., Hadgraft, R. G., & Newstetter, W. C. (2011). Engineering education and the development of expertise. *Journal of Engineering Education*, 100(1), 123–150.
- Mitchell, J. E., & Smith, J. (2008). Case study of the introduction of problem-based learning in electronic engineering. *International Journal of Electrical Engineering Education*, 45(2), 131–143.
- Savery, J. R. (2006). Overview of problem-based learning: Definitions and distinctions. *Journal of Problem-Based Learning*, 1(1), 9–20.

## פיתוח שאלות מולטימדיה מבוססות מיקום לקידום הבנה מדעית

שאדי עסאקלה ופרופ' מירי ברק  
הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה  
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

### תקציר

דוחות מבוססי סקרים של הארגון לשיתוף פעולה ולפיתוח כלכלי (ה-OECD) דיווחו לאחרונה על שני אתגרים חינוכיים מרכזיים. הראשון, הצורך בשיפור הישגים בתחומי המדע בקרב תלמידים מקהילות מוחלשות. השני, הצורך בקידום פדגוגיה חדשנית המותאמת למיומנויות הדרושות במאה ה-21. בניסיון להתמודד עם שני אתגרים אלו, מאמר זה מתאר מודל פדגוגי בשם SOCIAL. המודל מבוסס על חווית למידה ממוקמת, מתוקשבת, שיתופית ואינטראקטיבית תוך עידוד פעילות לפיתוח שאלות מולטימדיה מבוססות מיקום. כדי לבחון את המודל, ערכנו מחקר שמטרתו לאפיין את המיומנויות המרכזיות שהפעילות הלימודית עשויה לקדם ולבחון את ההשפעה שלה בבתי ספר בפריפריה הגאוגרפית של ישראל. המחקר כלל 112 תלמידי כיתות ח', תוך השוואה בין שתי קבוצות: קבוצת ניסוי, בה התלמידים פיתחו שאלות בנושאים מדעיים וקישרו אותם לחיי היום-יום, וקבוצת ביקורת, בה התלמידים ענו על שאלות על פי הגישה המסורתית. המחקר נערך בגישת השיטות המעורבות. הנתונים נאספו בעזרת תצפיות בכיתות הניסוי, שאלון שהועבר לפני ואחרי הפעילות הלימודית וניתוח שאלות מולטימדיה שפותחו על ידי התלמידים. תמלילי התצפיות בכיתות הניסוי הצביעו על חמש מיומנויות עיקריות: אוריינות תקשוב, מסוגלות עצמית, חשיבה בהקשר, חשיבה ביקורתית ויצירתיות. ממצאי המחקר הראו שהפעילות הלימודית מעודדת מתן הסברים לתהליכים מדעיים וקישור נושאים לחיי היום-יום. עם זאת, קיימים פערים גדולים בין התלמידים ביכולת שלהם לפתח שאלות מולטימדיה מקוריות. המחקר מעלה את הצורך לעודד עבודה בקבוצות בתהליך פיתוח השאלות, לשלב פעילויות אלו בתדירות גבוהה יותר ולעשות שימוש בשאלות כחלק מההערכה של הישגי התלמידים.

### מבוא

קידום חשיבה מדעית בקרב תלמידים הוא אחד האתגרים המרכזיים של החינוך במאה ה-21 (NRC, 2012; OECD, 2012). חשיבה מדעית מורכבת מכישורים קוגניטיביים ומיומנויות מסוג שאילת שאלות, ביצוע ניסוי, הערכת ראיות והסקת מסקנות. מבין מיומנויות אלו, פיתוח שאלות על ידי לומדים מהווה אסטרטגיה לימודית חשובה שעדיין לא מיושמת באופן מיטבי (Hardy et al., 2014; NRC, 2012). כדי ליצור שאלות איכותיות, התלמידים צריכים להיות בקיאים בתכנים המדעיים, להיות מסוגלים לחשוב כמדענים ולהיות מיומנים בשיטות מדעיות (Barak & Rafiali, 2004; NRC, 2012; Marbach-Ad & Sokolove, 2000). פיתוח שאלות כאסטרטגיה לימודית יכול להוות אמצעי להערכה חלופית של הישגי הלומדים. בדרך זו, ניתן לקבוע ציונים בהתאם לאיכות השאלות שהתלמידים יוצרים ולא רק על יכולתם לענות על שאלות של המורים (Barak & Rafaeli, 2004; Hardy et al., 2014; Herscovitz, et al., 2012; Marbach-Ad and Sokolove, 2000). מחקרים בתחום לימודי הכימיה בהם תלמידים פיתחו שאלות הראו עליה בהבנה כימית ברמות ייצוג שונות (Dori & Herscovitz, 1999; Kaberman & Dori, 2009). מחקר בתחום האלקטרוניקה, מדעי המחשב והפיזיקה, הראה שפיתוח שאלות מקדם תהליכי למידה, הבניית ידע והבנה מושגית (Sanchez-Elez et al., 2014). על אף היתרונות של מעורבות לומדים בפיתוח שאלות, ועל אף הפוטנציאל של אסטרטגיה לימודית זו לשיפור הידע וההבנה המדעית, היא אינה מיושמת בצורה

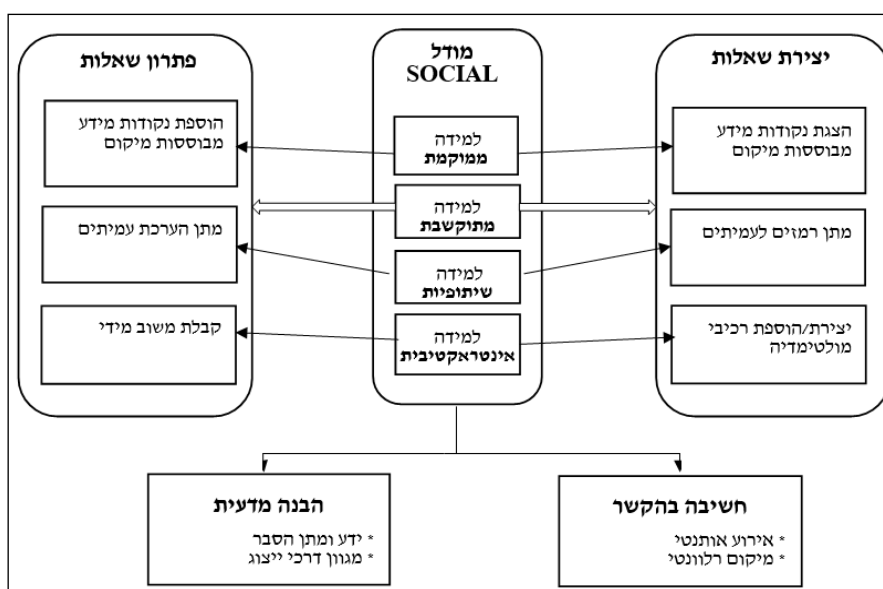


רחבה בבתי הספר. חלק מהסיבה לכך, הוא הצורך בפלטפורמה מתקדמת ובמסגרת פדגוגית מובנית שיסייעו למורים לקדם פעילויות של יצירת שאלות ופתרון שאלות כחלק אינטגרלי מתהליך הלמידה (עסאקלה וברק, 2017).

בהתבסס על תיאוריות לימודיות וספרות מחקרית, מאמר זה מתאר מודל פדגוגי בשם 'חברתי' SOCIAL לקידום מעורבות לומדים בתהליך יצירת שאלות מולטימדיה מבוססות מיקום. מודל זה מתכתב עם שני אתגרים חינוכיים מרכזיים. הראשון, הצורך בשיפור הישגים בתחומי המדע בקרב תלמידים מקהילות מוחלשות המצויות בפריפריה גאוגרפית. השני, הצורך בקידום שיטות הוראה, למידה והערכה העושות שימוש בטכנולוגיות מתקדמות ומותאמות למימונויות הדרושות במאה ה-21 (OECD, 2016; Tofel-Grehl et al., 2017). יישום המודל בבתי הספר לווה במחקר הערכה שמתואר במאמר זה.

### מודל SOCIAL

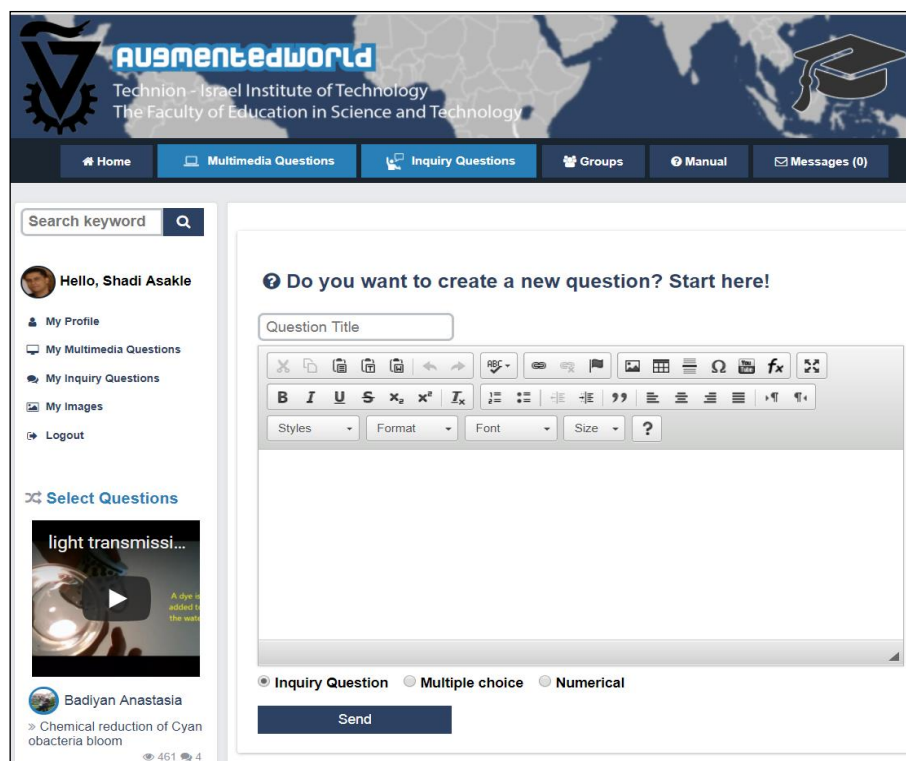
מודל 'חברתי' SOCIAL הינו ראשי תיבות של Situated Online Collaborative InterActive Learning. המודל מבוסס על ארבעה מרכיבים של תהליך הלמידה כחוויה ממוקמת (Situated), מתוקשבת (Online), שיתופית (Collaborative) ואינטראקטיבית (Interactive). למידה ממוקמת כוללת יצירה והוספה של נקודות מידע מבוססות מיקום על מפה דיגיטלית. למידה מתוקשבת מתרחשת במהלך שימוש בפלטפורמה אינטרנטית ייעודית שמאפשרת יצירת שאלות מולטימדיה ופתרון באופן מקוון ומרחוק. למידה שיתופית מתרחשת בתהליך שבו התלמידים משתפים את השאלות ונקודות המידע שייצרו ובכך מאפשרים לאחרים ללמוד מהן תוך פתרון השאלות ומתן הערכת עמיתים. למידה אינטראקטיבית מתרחשת בעת יצירה או שימוש ביישומי מולטימדיה (כגון סימולציות) וקבלת משוב מידי. איור 1 מציג את ארבעת רכיבי המודל ושתי מטרות למידה: הבנה מדעית - היכולת לפתח ולענות על שאלות, לנמק תשובות ולהציג נושא מדעי בצורות ייצוג שונות, וחשיבה בהקשר - היכולת לקשר מושגים מדעיים לאירוע אותנטי ומיקום רלוונטי.



איור 1. מודל SOCIAL לקידום הבנה מדעית וחשיבה בהקשר

מודל SOCIAL מיושם בעזרת פלטפורמת AugmentedWorld (עולם רבוד) המאפשרת יצירה ופתרון שאלות עתירות מולטימדיה תוך קישור מושגים מדעיים לאירוע אותנטי ומיקום רלוונטי

(עסאקלה וברק 2017; Barak & Asakle, 2018). הפלטפורמה מאפשרת פיתוח של שאלות מגוונות הכוללות נוסחאות מתמטיות, פיסיקליות וכימיות, הצגה של טבלאות וגרפים ושילוב תמונות, קטעי ווידאו, אנימציות וסימולציות מתחומי המדע (איור 2).



איור 2. דף השער של פלטפורמת AugmentedWorld

**מטרת המחקר, אוכלוסייה והפעילות הלימודית**  
 יישום מודל SOCIAL לווה במחקר הערכה. מטרת המחקר היו: לאפיין את המיומנויות המרכזיות שהפעילות הלימודית מבוססת המודל עשויה לעודד ולבחון את ההשפעה שלה על ההבנה המדעית אצל תלמידים. המחקר כלל 112 תלמידי כיתות ח' הלומדים בשלושה בתי ספר דרוזיים. האוכלוסייה הדרוזית הינה קבוצת מיעוט בישראל עם נורמות תרבותיות, חברתיות ודתיות ייחודיות. התלמידים הדרוזים מהווים רק כ- 2% מאוכלוסיית התלמידים בישראל. בכל בית ספר נבחרו באופן אקראי כיתת ניסוי וכיתת ביקורת. התלמידים בשתי הקבוצות למדו נושא מדעי זהה - חוקי ניוטון. קבוצת הביקורת (54 תלמידים) התבקשו לענות על שאלות שניתנו על ידי המורים, בעוד שקבוצת הניסוי (58 תלמידים) למדו על פי מודל SOCIAL תוך פיתוח שאלות מולטימדיה מבוססות מיקום.

הפעילות כללה ארבעה שלבים: א. יצירת שאלה - התלמידים התבקש לתכנן ולכתוב שאלת רב-ברירה בנושא חוקי ניוטון על סמך הידע שנרכש בכיתה. הם התבקשו להוסיף לשאלותיהם רכיבי מולטימדיה כגון סרטונים קצרים, אנימציות או סימולציות, כדי להציג או להמחיש את התופעה המדעית. ב. יצירת נקודת מידע מבוססת מיקום - התלמידים התבקשו להוסיף נקודת מידע על מפה דיגיטאלית. נקודות אלה כללו מידע נוסף שמסביר את התופעה המדעית שמוזכרת בשאלות שפיתחו. בעזרת נקודות אלה התלמידים קישרו את התופעה המדעית לחיי היום יום בסביבתם הקרובה או לאירועים אותנטיים בעולם. ג. שיתוף שאלה - התלמידים התבקשו לפתור שתי שאלות שפותחו על ידי עמיתיהם ד. הוספת נקודת מידע – התלמידים התבקשו להוסיף נקודת מידע לכל אחת משתי השאלות של עמיתיהם ובכך לקשר את הנושא המדעי לאירוע ומיקום רלוונטיים.

## שיטת המחקר

במחקר נעשה שימוש בגישת השיטות המעורבות המקבילות (Creswell, 2014), שבה מוזגו נתונים כמותיים ואיכותיים. כלי המחקר מפורטים להלן:

**תצפיות בכיתה** - תצפיות ללא מעורבות בוצעו בחדר המחשבים במטרה לאפיין את המיומנויות שמבוטאות במהלך הפעילות הלימודית (מטרת המחקר הראשונה). אמירות התלמידים תועדו באמצעות יומני חוקרים ונתחו בשיטה הקונבנציונלית (אינדוקטיבית), המאפשרת לקטגוריות להתהוות מתוך נתונים גולמיים (Hsieh & Shannon, 2005).

**שאלון בנושא הבנה מדעית** – במטרה לבחון את השפעת המודל הפדגוגי על ההבנה המדעית וחשיבה בהקשר של התלמידים. השאלון כולל שני חלקים: הראשון בוחן את יכולת התלמידים לפתח שאלת רב-ברירה ושאלת חקר מדעי, השני בוחן הבנה בעזרת שש שאלות רב ברירה בנושא 'כוחות וחוקי ניוטון' מתוך מבחני מיצ"ב (מדדי יעילות וצמיחה בית-ספרית). התלמידים התבקשו לרשום הסבר לכל תשובה ולקשר את הנושא המדעי לחיי היום יום. השאלון הועבר לשתי קבוצות המחקר: ניסוי וביקורת, לפני ואחרי לימוד הנושא המדעי, כדי לבחון את השפעת הפעילות הלימודית על ההבנה המדעית של התלמידים ויכולת חשיבה בהקשר. דוגמא לשאלת רב ברירה שכתב אחד התלמיד מוצגת באיור 3.

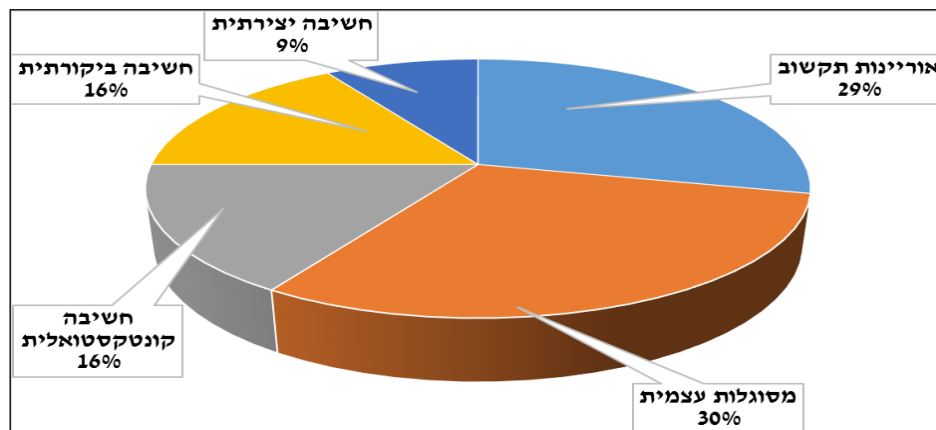
The image shows a screenshot of a science test question in Hebrew and Arabic. The question asks about the relationship between force and mass. The student has written an answer in Arabic, explaining that force is directly proportional to mass. Arrows point from the student's answer to labels: 'תשובה נכונה' (Correct answer), 'הסבר נכון עם התייחסות לחוק ניוטון' (Correct explanation with reference to Newton's law), and 'קשר לחיי היומיום – משחק משיכת חבל' (Connection to daily life – rope pulling game). Below the question, there are two more sections of the test. The first section asks for a question on the topic of force, and the student has written a question in Arabic. The second section asks for a question on the topic of force, and the student has written a question in Arabic. Arrows point from these sections to labels: 'מתן שאלה מדעית על צפיפות המלח במים' (Providing a scientific question on the density of salt in water) and 'מתן תשובה נכונה אחת וארבע מסיחים.' (Providing one correct answer and four distractors).

איור 3. דוגמא לשאלת רב ברירה שכתב אחד התלמיד, מתוך השאלון

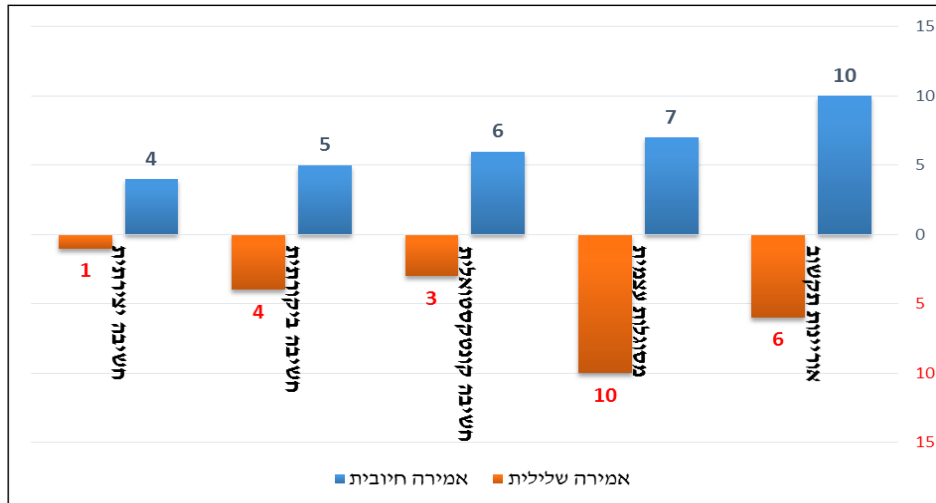
**ניתוח שאלות** – בחינה מעמיקה של השאלות שיצרו התלמידים על פי הגישה הדדוקטיבית, בהתאם לארבעה מרכיבים. שני המרכיבים **אידוע אותנטי ומיקום לזוונטי**, הותאמו מתוך דוחות ה-OECD (2013, 2016). המרכיב השלישי, **עיצוב מולטימדיה**, הותאם מעבודתם של ברק ורפאלי (2004). המרכיב הרביעי, **הרמה הקוגניטיבית**, כולל שלוש קטגוריות: ידע (מיומנות חשיבה ברמה נמוכה); הבנה (מיומנות חשיבה בינונית); והערכה (מיומנות חשיבה גבוהה) הותאם משני מחקרים קודמים (Barak & Rafaeli, 2004; Herscovitz et al., 2012). הציונים נקבעו על פי סולם 0 – 3, שהומר לסולם מאוני (מתוך 100).

## ממצאים

המיומנויות המרכזיות שהפעילות הלימודית מבוססת מודל SOCIAL עשויה לעודד במהלך התצפיות בפעילות הלימודית של קבוצת הניסוי עלו 56 אמירות שהצביעו על חמש מיומנויות מרכזיות שמודל SOCIAL עשוי לעודד אצל הלומדים: אוריינות תקשוב, מסוגלות עצמית, חשיבה בהקשר (קונטקסטואלית), חשיבה ביקורתית וחשיבה יצירתית (איור 4). נמצאו 32 אמירות חיוביות שהתייחסו להצלחה של התלמידים בביצוע המשימה ו- 24 אמירות שליליות שהצביעו על בעיות וקשיים (איור 5). מבחן מהימנות מסוג פליס קאפה (Fleiss kappa) שנערך בין חמישה מומחים, הראה את הערך 0.93, המעיד על הסכמה גבוהה לגבי שיוכם של ההיגדים לחמש המיומנויות.



איור 4. השכיחות באחוזים של חמש המיומנויות המאפיינות את הפעילות הלימודית



איור 5. התפלגות חמשת המיומנויות על פי אמירות חיוביות ושליליות של התלמידים

הפסקאות הבאות מציגות הסבר על כל אחת מחמשת מיומנויות הלמידה ודוגמאות נבחרות מתוך תמללי התצפיות במהלך הפעילות הלימודית.

**אוריינות תקשוב**, המיומנות הראשונה שזוהתה, מתייחסת ליכולתם של התלמידים להשתמש בפלטפורמות מבוססות רשת כדי למצוא, לנהל ולייצר מידע (Barak, 2017; NRC, 2012). התלמידים זיהו את הפוטנציאל בשימוש במידע ברשת, בדגש על איכות, כמות וגיוון. לדוגמה, אחד התלמידים שנעזר במידע ברשת אמר: "לא האמנתי שיש סרטונים ממש טובים על חוקי ניוטון ביו-טיוב שמסבירים בצורה הזו". תלמיד אחר אמר: "עברתי על החומר שלמדתי בכיתה אבל לא הצלחתי

לבנות שאלה. עשיתי חיפוש באינטרנט ומצאתי הרבה חומרים. בדיוק מה שרציתי". לעומתם, תלמיד שהפגין קושי באיתור מידע טען כי: "ישנה כמות אדירה של מידע על חוקי ניוטון. לא יודע מה לקחת משם. זה ממש הרבה". לגבי הדרכים למציאת מידע ברשת והשימוש בו. במהלך הפעילות, התלמידים הציגו רעיונות מקוריים בתהליך יצירת השאלה. חלק מהתלמידים הפגין שליטה וקלות בשימוש בחומרי הלימוד מהרשת, כולל הוספת תמונות או וידאו רלוונטיים. עם זאת, חלק מהתלמידים נתקל בקשיים ובניית שאלת מולטימדיה היווה אתגר עבורם. תלמיד שייצר סרטון וידאו מקורי ציין: "כל הזמן רציתי לצלם סרטון ולהעלות לאינטרנט וזה נראה לי ממש קשה. אבל כשעשיתי זאת במהלך הפעילות ראיתי שזה ממש קל... צירוף הסרטון לשאלה תרם הסבר מדעי". לעומתו, תלמידה שהתקשתה לבחור מידע מתאים, ציינה: "יש מיליונים של תמונות לא יודעת במה לבחור. מצאתי הרבה על חוקי ניוטון. איזה יופי. אבל במה להשתמש?!"

*מסוגלות עצמית*, המיומנות השנייה שזוהתה, מתייחסת ליכולתם של התלמידים להתמיד במשימה ולסיים אותה גם כשהם נדרשים להתמודד עם אתגרים (Bandura, 1997). התלמידים הצביעו על הצלחות אך גם על מסוגלות עצמית נמוכה. למשל, אחת התלמידות אמרה: "בהתחלה חששתי מהמשימה, אבל מיד עם תחילת העבודה ראיתי שאני מסוגלת לבנות תקציר לחומר שלמדתי ולבנות שאלה טובה... הצלחתי גם לחבר את הנושא המדעי לוידאו שמצאתי באינטרנט". תלמיד נוסף שהפגין מסוגלות עצמית גבוהה אמר: "רציתי לבנות שאלה ולשתף את חבריי לכיתה... אני יודע שאני מסוגל לפתח שאלה טובה. במיוחד אחרי שעברתי על החומר שלמדנו בכיתה, והתברר לי שאני יכול לתת דוגמה לחוקי ניוטון עם הסבר טוב". לעומתם, תלמידה שלא עשתה את המשימה אמרה: "זה ממש קשה, ממש לא בא לי, יהיה קשה לקשר חוק ניוטון לחיי ולכן לא רוצה לעשות זאת". תלמיד אחר אמר: "לעבוד עם המערכת נראה קשה, אין סיכוי שאצליח. אשאל את אח שלי אם יעזור אז אמשיך". תלמידה נוספת דיווחה על קשיים ואמרה: "המערכת טובה. ראיתי שאלות של אחרים. אבל, אני לא חושבת שאני מסוגלת. לא ניסיתי לעשות ולא רוצה. זה קשה". לאחר עזרה טכנית היא יצרה שאלה ללא הסבר על הנושא המדעי, ולטענתה: "לא יודעת לעשות וידאו או תמונה, מספיק ככה", התלמידה לא המשיכה את המשימה.

*חשיבה בהקשר*, המיומנות השלישית שזוהתה, מתייחסת ליכולתם של התלמידים להעמיק בהבנה מדעית על ידי יצירת קשר בין הנושא המדעי לבין אירועים אותנטיים וחוויות אישיות (Giamellaro, 2014; Lave & Wenger, 1991). על פי טענת התלמידים, הקשר בין הנושאים המדעיים לחיי היום יום שלהם אינו מובן מאליו. לדוגמה, תלמידה שציינה את חשיבות הקשר לחיי היום יום טענה: "טוב מאוד שיש רעיון כזה. מצאתי את השכונה שלי על המפה ושמתי נקודה ששם שיחקנו בשכונה. קישרתי את הנקודה למשחק משיכת חבל ששיחקתי עם חברות שלי". תלמיד אחר ציין שהפעילות הלימודית גרמה לו להבין את הקשר בין מדע וחיי היום יום: "אני מבין את חוקי ניוטון, אבל לא חשבתי לקשר את זה למשהו בחיי. זה ממש טוב להבין ולדעת שיש דברים אצלי בבית שעובדים לפי חוקי ניוטון. למשל אם אני נשען על הקיר בחדר שלי, הוא גם מפעיל עליי כוח". תלמידה שלא הצליחה לקשר את נושא חוקי ניוטון לחוויה או אירועים אישיים אלא לאחר עזרה מאחרים אמרה: "לא הבנתי בכלל מה זה לקשר לחיי את חוקי ניוטון, רק אחרי שראיתי נקודות מידע בשאלות אחרות, חשבתי על רעיון להציג נקודת מידע על המפה הדיגיטלית במקום שבו התרחשה תאונת דרכים בכפר והסברתי איך זה קשור לחוק ניוטון". לעומתה, תלמיד אשר התקשה בביצוע המשימה טען: "חוק ניוטון השני זה שגוף שמפעילים עליו כוח מאיץ. למה זה קשור? אם

אני נותן דחיפה לעגלה בשכונה היא זזה אבל לאחר מכן היא עוצרת, כלומר לא ממשיכה לזוז". תלמיד אחר שבכלל לא הצליח למצוא קשר לחיי היום יום טען: "אני לא מצליח להביא שום דוגמה מהבית או בכפר שקשורה לחוקי ניוטון".

*חשיבה ביקורתית*, המיומנות הרביעית שזוהתה, מתייחסת ליכולתם של התלמידים לחשוב בצורה רציונלית ושיפוטית עם שיקול דעת מדעי (Barak, Ben-Chaim, & Zoller, 2007; OECD, 2013). במהלך הפעילות הלימודית התלמידים התבקשו לפתור את שאלותיהן של עמיתים לכיתה, לספק הערכה מילולית ולדון בהצעות לשינוי ושיפור. במהלך הפעילות, התלמידים הפגינו יכולת שיפוט וחשיבה ביקורתית כלפי תוצריהם של עמיתיהם וגם כלפי פלטפורמת AugmentedWorld. התלמידים הצליחו לזהות שאלות טובות לעומת שאלות שדורשות שינוי ושיפור. לדוגמה, אחת התלמידות אמרה: "ראיתי שאלות של חברות שלי, הצלחתי לזהות שיש שאלות טובות ואחרות לא טובות". תלמיד אחר ציין: "אחרי קריאה נוספת של השאלה, בסוף המשימה, הבנתי שיכולתי לשפר בה הרבה". תלמיד שביקר שאלות של עמיתיו אמר: "הרבה שאלות לא היו טובות... הן היו רק בשביל לשאול שאלה ולא להסביר את הנושא". תלמידה שביקרה את השאלה שהיא כתבה אמרה: "השאלה שלי אמורה להסביר את החוק השלישי של ניוטון, קראתי אותה שוב וראיתי שהיא לא ממש טובה לכן הוספתי סרט שמסביר עוד". תלמידה אחרת עם אמירה חיובית אמרה: "לדעתי השאלה שלי ממש טובה יש בה גם סרטון. אבל נקודות המידע לא מספיק טובות... הן מכילות שורה אחת וזה לא מסביר הרבה".

*חשיבה יצירתית*, המיומנות החמישית שזוהתה, מתייחסת ליכולתם של התלמידים ליצור רעיונות חדשים, להציע דרכים חדשות להצגת מידע ולהראות יכולת של חשיבה 'מחוץ לקופסה' (NRC, 2003; Osborne, et al., 2012). תלמידים ראו בפעילות הלימודית הזדמנות להפגין יצירתיות בבניית השאלה ובקישור הנושא המדעי לחיי היום יום שלהם. אחת התלמידה אמרה: " בהתחלה חשבתי על בניית שאלה רגילה כמו בספרי הלימוד, אבל לאחר מחשבה עמוקה חשבתי לפתח שאלה רחבה יותר, עם תמונות וסרטונים ועם טקסטים כאילו שאני המורה". תלמידה אחרת חשבה על רעיון יצירתי לבניית השאלה כמשחק: "רציתי ליצר משחק שבו חסרים מלים ותמונות ומי שפותר את השאלה ישלים את החסר". תלמיד נוסף אמר: "זו הייתה הזדמנות לחשוב על חומרי הלימוד בצורה אחרת, להבין את החומר בדרכים חדשות, ולא רק לקרוא במחברת ובספר". תלמידה נוספת אמרה: "אף פעם לא חשבתי לפתח בצורה הזו חומרי לימוד. תמיד רציתי לקחת חומרי לימוד מהמורה או מוויקיפדיה, אבל כאן יש דרכים להציג דברים בצורה שאני רוצה".

**השפעה של הפעילות הלימודית על ההבנה המדעית אצל תלמידים בחטיבת ביניים**  
ניתוח של ציוני התלמידים בשאלון המקדים הראה ממוצעים נמוכים אצל שתי קבוצות המחקר: קבוצת הביקורת ( $M = 21.35, SD = 11.52$ ) וקבוצת הניסוי ( $M = 21.82, SD = 12.3$ ), ללא הבדלים מובהקים סטטיסטית בין שתי הקבוצות ( $t(111) = 0.211, p = .359$ ). לעומת זאת, בשאלון המסכם, ממוצע הציונים של קבוצת הניסוי - התלמידים שלמדו בגישת SOCIAL היה גבוה באופן מובהק סטטיסטית מהממוצע של קבוצת הביקורת ( $t(111) = 8.211, p = .000$ ). מבחן שונות חד-כיווני ANCOVA, בו ציוני השאלון המקדים שימשו כמשתנה בקרה, הראה הבדלים מובהקים סטטיסטית בהבנה מדעית, במתן הסבר, וביכולת לקשר נושא מדעי לחיי היום יום של התלמידים. עם זאת, לא נמצא הבדל מובהק סטטיסטית בין שתי הקבוצות ביכולת התלמידים לחבר שאלת רב ברירה (טבלה 1).

טבלה 1: ממוצעים, סטיית תקן ותוצאות מבחן ANCOVA, אצל שתי הקבוצות לפי השאלון המסכם

p	F	קבוצת ביקורת (N=54)		קבוצת ניסוי (N=58)		
		ממוצע	סטיית תקן	ממוצע	סטיית תקן	
.076	3.20	13.88	12.43	20.68	16.61	חיבור שאלת רב ברירה
.000	42.38	53.70	25.21	80.17	18.05	הבנה מדעית
.000	51.06	12.96	16.71	47.41	32.56	הסבר לתשובות
.003	9.49	6.17	13.06	18.96	27.06	קשר לחיי היום יום

ניתוח איכותני של שאלות המולטימדיה שפיתחו התלמידים מקבוצת הניסוי, הצביע על רמה קוגניטיבית בינונית ( $M=53.33, SD=24.66$ ) ויכולת בינונית-נמוכה לקשר את חוקי ניוטון לחיי היום יום ( $M=31.54, SD=24.96$ ). התלמידים הראו יכולת נמוכה בקישור למקום רלוונטי להתרחשותם של תופעות מדעיות ( $M=16.66, SD=29.12$ ). רק 52% מהתלמידים שילבו מולטימדיה (כגון תמונות וקטעי וידאו) בשאלות שפיתחו, אך לא נעשה שימוש בסימולציות או אנימציות. רק 6% שילבו תמונות וקטעי וידאו מקוריים שהם עצמם יצרו.

איור 6 מציג דוגמה לשאלה שפיתחה אחת התלמידות בנושא החוק השלישי של ניוטון. השאלה כוללת הסבר על פעולת חללית ומיקום השיגור שלה בווינגטון. התלמידה הציגה הסבר טוב לעקרונות המדעי והשאלה מאפשרת הבנה טובה שלו. עם זאת, השאלה קיבלה ציון של 50 מתוך 100 בשל הסבר חלקי לקשר בין הנושא המדעי למידע המוצג, הסרטון אינו מקורי, המיקום כללי ורחוק מחיי היום יום של התלמידה.



איור 6. דוגמה לשאלת מולטימדיה עם נקודת מידע בנושא חוק ניוטון השלישי

## דיון ומסקנות

מאמר זה מתאר מודל פדגוגי בשם SOCIAL המבוסס על חווית למידה ממוקמת, מתוקשבת, שיתופית ואינטראקטיבית תוך עידוד פעילות לפיתוח שאלות מולטימדיה מבוססות מיקום. כדי לבחון את המודל, ערכנו מחקר שמטרתו לאפיין את המיומנויות המרכזיות שהפעילות הלימודית עשויה לקדם ולבחון את ההשפעה שלה בבתי ספר בפריפריה הגאוגרפית של ישראל. תצפיות בכיתות הניסוי הצביעו על חמש מיומנויות עיקריות שהמודל עשוי לעודד: אוריינות תקשוב, מסוגלות עצמית, חשיבה בהקשר, חשיבה ביקורתית ויצירתיות. מיומנויות אלו הן חלק מהמיומנויות הדרשות ללמידה ולעבודה במאה ה-21 (NRC, 2012, OECD, 2016). בדומה למחקרים קודמים (Dori & Herscovitz, 1999; Hardy et al., 2014; Herscovitz, et al., 2012), ממצאי המחקר הראו שהפעילות הלימודית מעודדת מתן הסברים לתהליכים מדעיים וקישור נושאים לחיי היום-יום. עם זאת, קיימים פערים גדולים בין התלמידים ביכולת שלהם לפתח שאלות מולטימדיה מקוריות.

על אף שהתלמידים נולדו לתוך המילניום השלישי, חלקם הראה קושי בביצוע המשימה המתוקשבת, בעיקר בשל תחושת מסוגלות עצמית נמוכה. הדבר יכול לשמש כהסבר חלקי לממצאי דו"ח ה-OECD (2016) שהראה שלמרות השימוש בטכנולוגיות חדשניות בעשורים האחרונים, טרם ניכר שיפור בהבנה המדעית אצל תלמידים בממוצע עולמי. במחקר הנוכחי, הדבר בא לידי ביטוי בכך שחלק מהתלמידים לא הצליחו לסיים את הפעילות הלימודית או ביצעו אותה בצורה שטחית. המושג מסוגלות עצמית נטבע על ידי בנדורה (Bandura, 1997) שהעלה את ההשערה שמסוגלות עצמית משפיעה על ההתמדה של הלומד. תלמידים עם תפיסת מסוגלות עצמית נמוכה עשויים להימנע מביצוע משימות לימודיות שנתפסות בעיניהם כ"קשות". לעומתם, אלה המאמינים ביכולות שלהם יגלו נכונות להתמודד עם קשים בעת ביצוע המשימה. במחקר הנוכחי, ניכר היה כי הכיתה חולקה לתלמידים המאמינים ביכולתם עם מסוגלות עצמית גבוהה שביצעו את המשימה עם התמודדות מוצלחת עם הקשיים, לעומת תלמידים עם תפיסת מסוגלות עצמית נמוכה שלא ביצעו את המשימה, ולרוב לא ניסו להתמודד עם הקשיים ונמנעו מהביצוע.

הפעילות ליצירת שאלות הדגישה את התרומה של האינטראקציה החברתית שבה התלמידים ניסו לעזור לאחרים לשפר את שאלותיהם ולהוסיף מידע שקשור באירועים מקומיים וחוויות אישיות. למרות שמעט תלמידים הצליחו לתרום לעמיתיהם מידע לשיפור השאלות, התרומה של קישור שאלות לחיי היום יום מעיד על רקע תרבותי להתפתחות קוגניטיבית. בדרך זו, הלומד עשוי לשפר את ההבנה המדעית שלו כיוצר ותורם המידע בעוד שעמיתו משפרים את ההבנה המדעית שלהם בכך שהם מספקים משוב ורעיונות לשיפור (Lemke, 2001; Vygotsky, 1978).

ממצאינו מראים כי אצל התלמידים שלמדו על פי מודל SOCIAL, חל שיפור בשלושה היבטים לימודיים: הבנה של חוקי ניוטון, מתן הסבר לתשובות וקישור מושג מדעי לחיי היום יום. שיפור בהבנה של מושגים, עונה על הצורך לקדם מיומנות שאילת שאלות כחלק מהחינוך המדעי (NGSS) (Lead States, 2013; NRC, 2012, OECD, 2016). שיפור במתן הסבר לתשובות יכול להעיד על פעולות קוגניטיביות ומטא-קוגניטיביות שהפעילות הלימודית קידמה. הדבר דומה לממצאים של מחקרים אחרים שעודדו פיתוח שאלות ומתן הסברים (Barak & Rafaeli, 2004; Herscovitz, et al., 2012). שיפור ביכולת לקשר נושאים מדעיים לחיי היום יום, הראה על יכולת התלמידים להבין



את הנושאים המדעיים לא רק באופן תיאורטי אלא באופן מעשי, דרך חוויות אישיות (Giamellaro, Lave, & Wenger, 1991; 2014).

במחקר הנוכחי בחנו תלמידים מבתי ספר בפריפריה הגאוגרפית של ישראל. ההצלחה החלקית של תלמידי כיתות ח' בפיתוח שאלות מולטימדיה דורש פתרון חדשני לצמצום פערים בין אוכלוסיות. יש להמשיך ולעודד מורים לשלב פעילויות מעין אלו בכיתות הלימוד גם אם, חלק מהתלמידים מרגישים שהאתגר גדול מידי ותחושת המסוגלות העצמית נמוכה. אנו ממליצים על מחקר המשך שבו תיעשה השוואה בין אוכלוסיות שונות, לבחינת השפעת מודל SOCIAL על אוכלוסיות מוחלשות לעומת אוכלוסיות אחרות.

לסיכום, בעשור האחרון, מחקרים רבים עוסקים בבחינה של פדגוגיות חדשניות וטכנולוגיות מתקדמות לקידום החינוך המדעי (למשל, Sanchez-Elez, Barak & Asakle, 2018; Barak, 2017; 2014). מחקרים אלו עשויים לתרום להתפתחות דור חדש של תיאוריות למידה המביאות בחשבון שינויים בהרגלי הלמידה ודרכי ההוראה. המחקר הנוכחי, יכול לתרום נדבך לקידום התיאוריה החברתית-תרבותית (sociocultural) שמדגישה את תרומתן של אינטראקציות בינאישיות וחשיבות הרקע התרבותי להתפתחות הקוגניטיבית של הפרט (Lemke, 2001; Vygotsky, 1978). בדומה, המחקר יכול לתרום לקידום תיאוריית הלמידה הממוקמת (situated learning) שמדגישה כי למידה משמעותית מתרחשת באמצעות התנסויות אותנטיות וחיבור הנלמד לחיי היומיום של הלומד (Lave & Wenger, 1991).

#### מקורות

- עסאקלה, ש. וברק, מ. (2017). AugmentedWorld: פלטפורמה שיתופית ליצירת שאלות מבוססות מיקום ומולטימדיה. *מורטק*, 12, 10-16.
- Barak, M. (2017). Science teacher education in the twenty-first century: A pedagogical framework for technology-integrated social constructivism. *Research in Science Education*, 47(2), 283-303.
- Barak, M., & Asakle, S. (2018). AugmentedWorld: Facilitating the creation of location-based questions. *Computers & Education*, 121, 89-99.
- Barak, M., Ben-Chaim, D., & Zoller, U. (2007). Purposely teaching for the promotion of higher-order thinking skills: A case of critical thinking. *Research in Science Education*, 37(4), 353-369. DOI 10.1007/s11165-006-9029-2
- Barak, M. & Rafaeli, S. (2004). Online question-posing and peer-assessment as means for webbased knowledge sharing in learning. *International Journal of Human-Computer Studies*, 61(1), 84-103.
- Bandura A. (1997). Self-efficacy: the exercise of control. New york: W. H. Freeman and Co. publishing.
- Bloom, B.S., Engelhart, M.B., Furst, E.J., Hill, W.H., Krathwohl, D.R., 1956. Taxonomy of educational objectives: the classification of educational goals, handbook 1: *The cognitive domain*. Longmans Green, New York.
- Creswell, J. W. (2014). Research design qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (4th ed., p. 304). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Dori, Y.J. & Herscovitz, O. (1999). Question-posing capability as an alternative evaluation method: Analysis of an environmental case study. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 411-430.

- Fleiss, J. L. and Cohen, J. (1973). The equivalence of weighted kappa and the intraclass correlation coefficient as measures of reliability. *Educational and Psychological Measurement*, 33(3), 613-619.
- Giamellaro, M. (2014). Primary Contextualization of Science Learning through Immersion in Content-Rich Settings. *International Journal of Science Education*, 36(17), 2848-2871. doi:10.1080/09500693.2014.937787
- Hardy, J., Bates, S. P., Casey, M. M., Galloway, K. W., Galloway, R. K., Kay, A. E., Kirsop, P., & McQueen, H. A. (2014). Student-generated content: enhancing learning through sharing multiple-choice questions. *International Journal of Science Education*, 36(13), 2180-2194.
- Hsieh, H.-F., & Shannon, S.E. (2005). Three approaches to qualitative content analysis. *Qualitative Health Research*, 15(9), 1277-1288.
- Herscovitz, O., Kaberman, Z., Saar, L. & Dori, Y.J. (2012). The relationship between metacognition and the ability to pose questions in chemical education. In A. Zohar and Y.J. Dori (Eds.) *Metacognition in Science Education: Trends in Current Research* (pp. 165-195). Dordrecht, The Netherlands: Springer-Verlag.
- Kaberman, Z. & Dori, Y.J. (2009). Question posing, inquiry, and modeling skills of chemistry students in the case-based computerized laboratory environment. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7(3), 597-625.
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. New York: Cambridge University Press.
- Lemke, J. L. (2001). Articulating communities: Sociocultural perspectives on science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(3), 296–316.
- Marbach-Ad, G. & Sokolove, P.G. (2000), Can undergraduate biology students learn to ask higher level questions? *Journal of Research in Science Teaching*, 37(8), 854–870.
- McLellan, H. (1996). Situated learning: Multiple perspectives. In H. McLellan (Ed.), *Situated learning perspectives* (pp. 5–17). New Jersey: Educational Technology Publications.
- National Research Council [NRC] (2012). A framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas. Committee on a conceptual framework for new k-12 science education standards. Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.
- NGSS Lead States (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., & Duschl, R. (2003). What “ideas-about-science” should be taught in school? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 692-720. doi:10.1002/tea.10105.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) (2013). PISA 2012 Assessment Framework—Key Competencies in Reading, Mathematics and Science. Paris.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). (2016). PISA 2015 Results (Volume I): Excellence and Equity in Education, PISA, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264266490-en>
- Sanchez-Elez, M., Pardines, I., Garcia, P., Miñana, G., Roman, S., Sanchez-Elez, M., (2014). Enhancing students' learning process through self-generated tests. *Journal of Science Education and Technology*, 33, 15–25.
- Tofel-Grehl C, Fields DA, Searle K, Maahs-Fladung C, Feldon D, Gu G & Sun V., (2017). Electrifying engagement in middle school science class: improving student interest through e-textiles. *Journal of Science Education and Technology*, 26(4), 406-417.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*.  
Cambridge, MA: Harvard University Press.

## שיתוף פעולה אדם-רובוט: רובוטים חברתיים כעוזרי הוראה לפעילויות למידה

### בקבוצות קטנות

ד"ר רינת רוזנברג קימה  
הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה  
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

יעקב קורן  
המחלקה לסוציולוגיה ואנתרופולוגיה  
אוניברסיטת תל אביב

מיה יכני  
בית הספר לחינוך  
אוניברסיטת תל אביב

ד"ר גורן גורדון  
המחלקה להנדסת תעשייה  
אוניברסיטת תל-אביב

### תקציר

האם רובוטים חברתיים חינוכיים יכולים לתת ערך אמיתי בשנים הקרובות? במאמר זה אנו טוענים שהתשובה היא כן. בכיתה בה צפינו, נוכחנו בבעיה נפוצה: המרצה חילקה את הכיתה לקבוצות קטנות לעבודה על פעילות משותפת ולא הצליחה לחלק את זמנה בין הקבוצות ולענות לכל השאלות בזמנית. המטרה של מחקר זה הייתה לבחון האם רובוטים חברתיים יכולים לעזור במצב זה. בפרט, רצינו למצוא האם רובוט חברתי יכול לשרת מטרה זו באופן טוב יותר מטכנולוגיות אחרות כגון טאבלטים. שלושים ושלושה סטודנטים השתתפו בפעילות למידה בקבוצות קטנות. בתנאי הרובוט, במקום להרים את היד ולחכות לתשובת המרצה, הסטודנטים יכלו, עבור כל שלב בפעילות, ללחוץ על סימן השאלה ולקבל פידבק מיידי מהרובוט החברתי. בתנאי הטאבלט, הסטודנטים קיבלו את אותו הפידבק על גבי מסך הטאבלט. יתרונותיו וחסרונותיו של הרובוט החברתי נידונים.

### מבוא

המחקר והפיתוח של רובוטים חברתיים למטרות חינוכיות הופך נרחב יותר ויותר (Park, 2016; Sharkey, 2016; Rosenberg-Kima, Rosenberg, Gordon, & Breazeal, 2017). אף על פי כן, ביישומים חינוכיים, לרובוטים מכשלה משמעותית, והיא היכולת המוגבלת של מערכות רובוטיות מבוססות בינה מלאכותית (Artificial intelligence – AI) לתקשר עם בני אדם ולהבין אותם באופן טבעי. למרות ההתקדמות המשמעותית בשנים האחרונות בתחום זה, אפילו הטכנולוגיות המתקדמות ביותר רחוקות מאוד מהיכולת לתקשר בצורה טבעית עם בני אדם. על מנת להתגבר על המגבלה הזו מחקרים בתחום עדיין נעזרים במקרים רבים בגישת "הקוסם מארץ עוץ" (כאשר למעשה בן אדם מתפעל את הרובוט מאחורי הקלעים). כמו כן, השימוש של רובוטים חברתיים ליישומים חינוכיים מעורר שאלות אתיות בנושאים כגון פרטיות, קשר רגשי, הונאה ואיבוד שליטה (Sharkey, 2016).

לאור המגבלות הטכנולוגיות והאתיות, קשה לדמיין שימוש בעתיד הקרוב ברובוט חברתי כמורה המתפקד הן במישור הקוגניטיבי והן במישור הרגשי. לכן מוצדק לשאול האם ניתן לזהות ערך ממשי בשימוש ברובוטים חברתיים לצרכי חינוך.

טענתנו היא שהתשובה לשאלה זו היא כן. בצפייה בפעילות למידה פעילה בכיתה, זיהינו צורך מעניין שכיום לא קיים עבורו פתרון מספק. בכיתה זו, המרצה חילקה את הקבוצות לעבודה על ניתוח מקרה על פי גישת הלמידה מבוססת בעיות (Problem-based learning – PBL). כאשר מספר רב של תלמידים ניסו לשאול בו-זמנית את המרצה שאלות הבהרה, למרצה לא הייתה יכולת טכנית לענות לכולם יחד. מטרת המחקר הייתה לבחון האם רובוטים חברתיים חינוכיים עשויים לשמש כעוזרי הוראה במצב זה. בנוסף רצינו לבחון האם רובוט פיזי מתאים לתפקיד זה בצורה טובה יותר מטכנולוגיות אחרות, ובפרט טאבלטים.

### מערך המחקר

(א) **משתתפים:** שלושים ושלוש סטודנטיות אשר הצטוותו בקבוצות קטנות השתתפו בפעילות של ניתוח מקרה במסגרת הקורס "דיסלקסיה: היבטים תאורטיים ומעשיים". שמונה עשר סטודנטיות עבדו עם רובוט חברתי וחמישה עשר סטודנטיות עם טבלטים.

(ב) **מבנה הפעילות:** הניסוי התבסס על אינטראקציה של קבוצות בנות חמש סטודנטיות, כאשר לכל קבוצה הוקצה רובוט מסוג נאו (NAO) וטאבלט אישי לכל משתתף (ראו תמונה 1). לצורך פיתוח האינטראקציה בין הרובוט לטאבלטים נעשה שימוש ב-PYTHON, KIVY ו-ROS (מערכת הפעלה של רובוטים). מרצה הקורס בנתה בסיס נתונים עם תשובות אפשריות למגוון שאלות אפשריות. התשובות הוקלטו בקול המרצה ושולבו ברובוט. במחקר נעשה שימוש בשלושה רובוטים במקביל.

(ג) **קבוצות הניסוי:** הניסוי התבסס על פעילות של ניתוח מקרה כאשר הסטודנטיות עבדו בקבוצות על למנת לאבחן את סוג הדיסלקסיה של ילדה. הפעילות נעשתה בשני סוגים של קבוצות: בקבוצות ה-"ROBOT" הסטודנטיות יכלו להפעיל באמצעות הטאבלט את הרובוט על מנת לקבל תשובות. בקבוצות ה-"TABLET" הסטודנטיות קיבלו את אותה תשובה אבל בצורה כתובה על מסך הטאבלט. סך הכל הפעילות ארכה כשעה. לאחר הפעילות הסטודנטיות ענו על שאלון עמדות ועל שאלות פתוחות (איור 1).



איור 1. תמונות מהניסוי

**(ד) משתנים תלויים וכלי מחקר:**

- שאלון עמדות כלפי שימוש ברובוט או ביישום בטאבלט: נבחן באמצעות שאלון מסוג ליקרט עם 5 רמות המיועד לבחון עמדות כלפי הרובוט או הטאבלט, על פי הקבוצה לה שייכת הסטודנטית הממלא את השאלון. שאלון זה כלל סך של 10 פריטים.
- שאלון עמדות כלפי הרובוט: נבחן באמצעות שאלון המיועד לבחון עמדות כלפי הרובוט ואשר כלל 5 פריטים ומולא ע"י סטודנטיות בקבוצות ה-"רובוט" בלבד.
- מידע איכותני: נבחן באמצעות שאלון פתוח למחצה שבו המשתתפות התבקשו להגדיר בכתב שלושה יתרונות ושלושה חסרונות של השימוש ברובוט.

**ממצאים**

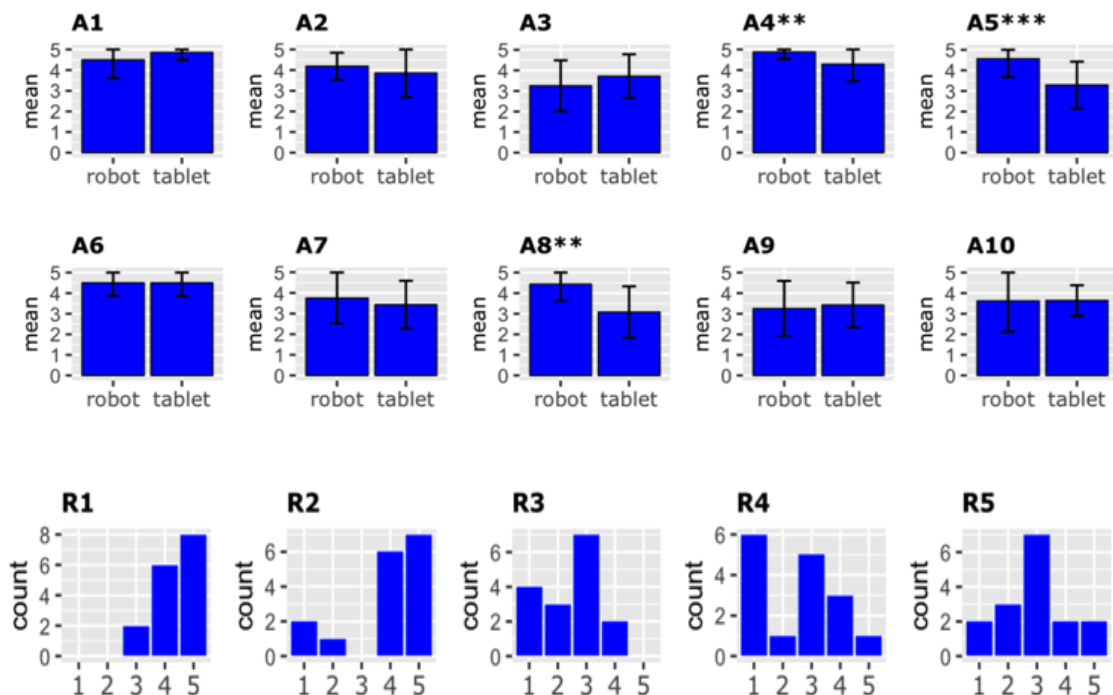
עמדות כלפי שימוש ברובוט או ביישום בטאבלט: בוצע ניתוח (multiple analysis of variance) MANOVA, אשר הראה שהסטודנטיות בקבוצות ה-"רובוט" הרגישו נוח יותר בצורה משמעותית עם העבודה מול הרובוט (A4 בטבלה 1), עם התנהגות הרובוט (A5 בטבלה 1) ודרגו בציון גבוה יותר משמעותית את תגובת הרובוט לקבוצה (A8 בטבלה 1) מאשר הסטודנטיות בקבוצות הטאבלט. עמדות כלפי הרובוט: לדעת הסטודנטיות בקבוצות ה-"רובוט" הרובוט השתלב בקבוצה. רוב הסטודנטיות דווחו שהרובוט היה ידידותי, אף שמיעוט דרגו תכונה זו בציונים נמוכים. לכן ניתן לציין שההתייחסות הייתה חיובית מאוד או שלילית מאוד. באופן כללי, הסטודנטיות חשבו שהרובוט לא התנהג כמורה אמיתי (ואכן הוא לא התנהג כך). התשובות של הסטודנטיות לשאלה האם הן אהבו את המורה הרובוטי התפלגו נורמלית עם ממוצע קרוב לציון 3 (ראה טבלה 1 בהמשך).

מידע איכותני: נאספו 64 תגובות של הסטודנטיות. ניתוח התגובות הראה ש- 55% מהן הצביעו על יתרונות הרובוט ו- 45% הנתרות הצביעו על חולשות. תגובות הסטודנטיות קודדו בארבע קטגוריות.

תמות שעלו בקטגוריה יתרונות בפונקציונליות טכנית כללו יעילות (למשל: "נגיש למספר אנשים", "תגובה מיידית"). תמות שעלו בקטגוריה חסרונות בפונקציונליות טכנית כללו: תקשורת מוגבלת (למשל: "לא מסוגל להתאים עצמו לסיטואציה"), מיומנות פדגוגית מוגבלת (למשל: "לא מסוגל לענות לשאלות המשך") תעיות טכניות (למשל " היו תקלות"). בקטגוריה חסרונות פסיכולוגיים וחברתיים עלו התמות לא אנשי (למשל: "חסר רגשות") חסד אמפטיה (למשל "לא מסוגל לקשר בינאיש"). בין הממצאים המעניינים הנוספים של המחקר ניתן לציין תמות בקטגוריה יתרונות פסיכולוגיים וחברתיים, למשל אובייקטיבי ולא שיפוטי ("הרובוט הוא לא שיפוטי כמו בני אנוש"), מהנה ("נעים"), ומניע ("מגביר את המוטיבציה")

טבלה 1. עמדות כלפי הרובוט והטאבלט

P	תנאי טאבלט		תנאי רובוט		היגד	שאלון
	ממוצע	סטיית תקן	ממוצע	סטיית תקן		
0.17	4.85	0.36	4.50	0.89	הבנתי את הרובוט/הממשק	A1
0.33	3.85	1.16	4.19	0.65	ההנחיה של הרובוט הייתה איכותית	A2
0.28	3.71	1.06	3.25	1.24	חשתי אמון להנחיות הרובוט/ממשק	A3
<0.01**	4.00	1.36	4.87	0.34	חשתי תחושת נוחות עם מראה הרובוט/ממשק	A4
<0.001***	3.28	1.38	4.56	0.89	חשתי תחושת נוחות עם התנהגות הרובוט/ממשק	A5
0.74	4.50	0.65	4.50	0.63	הרובוט/ממשק הוא כלי עזר טכני	A6
0.60	3.42	1.16	3.75	1.24	ארצה שיעורים נוספים עם הרובוט/טאבלט	A7
<0.01**	3.08	1.26	4.44	0.81	הרובוט/ממשק הגיב לקבוצה	A8
0.61	3.42	1.08	3.25	1.34	השיעור עם הרובוט/הטאבלט היה נעים	A9
0.48	3.84	0.88	3.60	1.43	השיעור עם הרובוט/הטאבלט היה מעניין	A10
-	-	-	4.37	0.72	הרובוט התאקלם בכיתה	R1
-	-	-	3.94	1.39	הרובוט היה חברותי במהלך הפעילות	R2
-	-	-	2.44	1.03	הרובוט התנהג כמורה אמיתי	R3
-	-	-	2.50	1.37	הרובוט היה אנרגטי במהלך השיעור	R4
-	-	-	2.94	1.18	אהבתי את הרובוט מורה	R5



איור 2. עמדות הסטודנטים כלפי הרובוט והטאבלט

## דיון ומסקנות

במחקר הנוכחי בחנו את האפשרות להיעזר ברובוטים ככוח עזר למרצה בעזרה בו זמנית למספר קבוצות לימוד קטנות. בפרט, השוינו את השימוש ברובוט מול שימוש בטאבלט ליישום הנידון. באופן כללי השימוש ברובוטים היה מוצלח. ניתן לחזות מראש הרבה מהשאלות שהסטודנטיות תשאלנה, ואותן שאלות ניתנות למענה טוב הן על ידי רובוט והן ע"י הטאבלט. עם זאת הסטודנטיות בקבוצות ה"רובוט" הרגישו יותר בנוח עם הרובוט מאשר הסטודנטיות בקבוצות ה"טאבלט". ניתן לציין הבדל אחד בין אופני הפעולה של שני התנאים: כאשר סטודנטית בקבוצות ה"רובוט" שאלה שאלה, תשובת הרובוט נשמעה ע"י כלל הקבוצה. בקבוצות ה"טאבלט", להבדיל, רק הסטודנטית ששאלה את השאלה ראתה את התשובה על גבי המסך. כך, נראה שהפעילות הקבוצתית בתנאי ה"רובוט" הייתה מתואמת יותר, מה שעשוי להסביר את התשובות לשאלת "הרובוט/טאבלט הגיב לקבוצה" שהייתה חיובית יותר בתנאי הרובוט.

הסטודנטיות בקבוצות ה"רובוט" דיווחו שהאינטראקציה עם הרובוט הייתה יעילה מאוד ובמובנים מסוימים אפילו עדיפה על תקשורת עם מדריך אנושי. לדוגמה, הסטודנטיות הרגישו נוח לשאול הרבה שאלות מבלי לחשוש לשיפוטיות מצד הרובוט. לכן עבור הרבה סטודנטיות העובדה שהרובוט אינו בן אנוש נתפסה כיתרון דווקא. עם זאת, לשימוש ברובוט מגבלות. אחת המשמעותיות היא חוסר היכולת של הרובוט להבין את הסטודנטיות (יש לזכור שהתקשורת עם הרובוט התבצעה באמצעות הטאבלט). מגבלה נוספת היא חוסר היכולת לענות על שאלות המשך. יחד עם זאת, בכך שהרובוט מסוגל לענות לרוב השאלות הפשוטות בעצמו, הוא מאפשר למרצה לעסוק בשאלות המורכבות יותר. תולדה אפשרית היא שיתוף פעולה בין מורה לרובוט, שבו מנוצלים היתרונות היחסיים של כל אחד מהם, מה שעשוי לתרום לסינרגיה ולממש את רעיון שיתוף פעולה (שת"פ) אדם-רובוט (Human-Robot Collaboration – HRC). בשיתוף פעולה כזה בזמן שהרובוט נותן מענה לשאלות שגרתיות, המורה יכול להתפנות לענות על שאלות מורכבות, וזאת בהתאמה למודל הטוען שרובוטים יעסקו במטלות משעממות או "מלוכלכות" בזמן שבני אנוש יעסקו במשימות היותר מתחכמות ומתגמלות (Takayama, Ju, & Nass, 2008).

מאמר זה מתבסס על:

Rosenberg-Kima, R., Koren, Y., Yachini, M., Gordon, G. (2019, March). Human-Robot-Collaboration (HRC): Social robots as teaching assistants for learning activities in small groups. Late breaking report to appear in proceedings of the 2019 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction.

תרגום לעברית: בטו כץ, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון.  
מקורות

Park, H. W., Rosenberg-Kima, R. B., Rosenberg, M., Gordon, G., & Breazeal, C. (2017). Growing Growth Mindset with a Social Robot Peer. *HRI*, 137–145.

Sharkey, A. J. (2016). Should we welcome robot teachers? *Ethics and Information Technology*, 18(4), 283–297.

Takayama, L., Ju, W., & Nass, C. (2008). Beyond dirty, dangerous and dull: what everyday people think robots should do. *Human-Robot Interaction (HRI), 2008 3rd ACM/IEEE International Conference On*, 25–32. IEEE.



## פרויקט פורמולה טכניון

טל ליפשיץ

הפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל  
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

### תקציר

פרויקט הפורמולה בטכניון הוקם בשנת 2013 ע"י סטודנט בפקולטה להנדסת מכונות. הפרויקט מתנהל במסגרת סבב עולמי בשם Formula Student או FSAE. בעולם כיום יש מעל 1000 קבוצות המשתתפות בסבב ב-3 קטגוריות – רכב בעירה, רכב חשמלי, ורכב אוטונומי ללא נהג. במהלך הסבב הקבוצות מתכננות מייצרות מרכיבות ובודקות את הרכב לקראת התחרות, זאת ב-8 חודשים תוך כדי לימודי הנדסה. בטכניון הפרויקט מתקדם ומתפתח מדי שנה וכיום ישנם 2 רכבים – רכב בעירה המתחרה עם נהג ורכב חשמלי אוטונומי המתחרה בקטגוריה של רכב אוטונומי.

כדי להספיק לבנות רכב כל שנה וגם לפתח רכיבים חדשים ולשפר אותם, האתגר הוא לשלב בין תכנון ויישום בפועל. הרכב מתוכנן לרמת הבורג בתוכנת תיב"מ יחד עם סימולציות דינמיות של הרכב ואופטימיזציה לשיפור זמני עקיפה. הפרויקט משלב הרבה תחומים כולל: תכן מכני, בקרה, אלקטרוניקה, אלגוריתמיקה, תכנות, מכניקת חומרים, ועוד.

האתגר לפתח רכב אוטונומי מסובך בפני עצמו אבל במיוחד לקבוצת הפרויקט בטכניון כיוון שחסר להם ניסיון באלגוריתמיקה ובעבר התעסקו בעיקר בתכן מכני. המעבר בין רכב מרוץ שנוסע על הקצה עם נהג, לרכב שעושה אותו דבר ללא נהג וגם מצליח לעקוף את זמניו של הנהג הוא מאוד קשה ולכן מעט מאוד קבוצות מצליחות בשנים האחרונות מאז שפתחו את הקטגוריה החדשה ב-2017. הרכב האוטונומי נוסע על מסלול דומה לזה של הרכבים עם נהג, אשר תחום ע"י קונוסים בצבעים שונים. כל המקצים הדינמיים מודדים את זמני ההקפה של הרכב על המסלול. המקצים, בדומה לרכב עם נהג, הם תאוצה בקו ישר (75 מטר), סקיידפד (מעגלים הבודקים את דינמיקת הרכב), הקפה אחת של מסלול טכני ועוד מקצה ארוך של כ-10 ק"מ (22 ק"מ לרכבים עם נהג) על המסלול הטכני.

פרויקט הפורמולה בטכניון נותן לסטודנטים להנדסה פלטפורמה ללמוד, ולהתפתח בהנדסה עוד לפני שיוצאים לעבוד בתעשייה. הפרויקט כולל תחומים רבים ומכסה מגוון רחב של נושאים כך שלסטודנטים בוגרי הפרויקט קל יותר להשתלב בתעשייה, באקדמיה ובכלל מסגרת אחרת לפיתוח קריירה טכנולוגית.

### היסטוריה של הפרויקט בטכניון

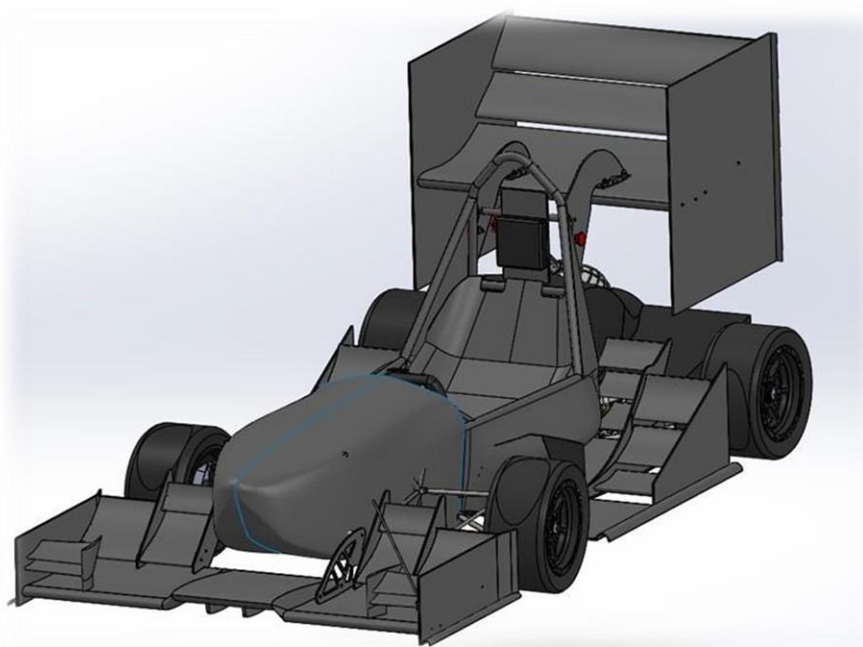
הקבוצה של הטכניון, קבוצה צעירה יחסית לקבוצות באירופה, משתפרת משמעותית לאורך השנים. התוצאה הטובה ביותר של הפרויקט עד כה, היא מקום 8 בתחרות באוסטריה. השנה הקבוצה שואפת להיות מבין הקבוצות הראשונות בתחרויות ב: אוסטריה, צ'כיה וגרמניה.

### פורמולה 2019

בהמשך לשנים האחרונות פרויקט הפורמולה מתכנן את רכב בעירה שביעי בעל מנוע עם צילינדר אחד (נפח 450 סמ"ק) המפיק +63 כוחות סוס בזכות מערכות עזר ומערכת ניהול/בקרת מנוע המפותחים ע"י חברי הפרויקט. בהמשך לרכב הקודם שהיה הרכב הקל ביותר בהיסטוריה של

התחרות, הרכב מתוכנן להיות קל יותר במשקל כולל של 128 ק"ג ללא נהג. בנוסף, החבילה האווירודינמית המתוכננת ע"י סטודנטים מהפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל מפיקה 110 ק"ג של כוח הצמדה במהירות של 80 קמ"ש המאפשר לרכב תאוצת צד מקסימלית של 3G. לקבוצת הטכניון יש מספר מערכות מיוחדות: מערכת העברת הילוכים חשמלית, מערכת "antiroll" הידראולי, השולט על קשיחות הסרן האחורי של הרכב בעזרת חיישנים ובוכנות שסטודנט תכנן, כדי לשלוט תוך כדי פניות על דינמיקת הרכב. בנוסף, לרכב יהיה מערכת הפחתת גרר (DRS) הפותחת את הכנף האחורית בישורת כדי להפחית גרר.

כחלק מהפיתוח הסטודנטים מתחילים את הסמסטר חורף עם סקר ספרות והבנת מפרט הדרישות. לאחר מכן, כל צוות עובד לפי פורמט של "סקרי תיכון" של PDR, SRR ו CDR שבסופם ניתן לייצר את החלקים ולהרכיב אותם לרכב. כל החלקים מחושבים, עוברים אנליזות של חוזק, זרימה, חום, מתוכננים בתלת מימד, ובסופו של התהליך מתוכנן מודל מלא של הרכב שניתן לבנות לפיו (איור 1).



איור 1. פורמולה 2019 במודל תיב"מ

### פורמולה חשמלית/אוטונומית

כיום, לאחר פתיחה של קטגוריה עבור רכבים אוטונומיים, קבוצת הטכניון הכוללת סטודנטים מפקולטות שונות בטכניון, כגון: הפקולטה להנדסת מכונות, הפקולטה להנדסת חשמל ע"ש ויטריבי והפקולטה למדעי המחשב, עובדת על תכנון רכב חשמלי/אוטונומי. הרכב האוטונומי מתבסס על מכונית "פורמולה טכניון" שנכנסה לעשירייה המנצחת בשתי תחרויות שהתקיימו באירופה בשנת 2016. להיבטים החישוביים (אלגוריתמיקה) אחראים סטודנטים מהפקולטה למדעי המחשב, שפיתחו סימולטור ייעודי לרכב זה.

תכנון מערכת ההנעה כוללת מנועים, סוללות ובקרים העובדים ביחד להוציא את מירב ההספק הניתן תוך כדי שמירה על תנאי עבודה אופטימליים הכוללים טמפרטורה, מתח ועוד; בכדי לעמוד בתקנון וגם לשמור על מארז הסוללות והמנועים שלא יתחממו. הרכב מתוכנן עם 2 מנועים אחוריים, המאפשר "Torque Vectoring" או היגוי בעזרת מומנט שונה בגלגלים האחוריים, היכול לעזור בבקרת הרכב בפניות.



איור 2. פורמולה אוטונומית 2018 השתתפה ב- Formula Student Driverless באירופה

הפורמולה האוטונומית (איור 2), כיום בפיתוח בעזרת Nvidia יחד עם קבוצת הטכניון שהצליחה לפתח אלגוריתם של למידה עמוקה המאפשר לרכב האוטונומי להשתפר בהדרגה בנהיגה. זאת באמצעות חיזוי זווית הניהוג של הרכב. החיבור בין האלגוריתם לסביבה הממשית מבוצע על ידי מצלמות המותקנות על הרכב ומחשב Drive-PX2 שתרמה חברת Nvidia. הסימולטור החדש מתחשב בכל השיקולים הרלוונטיים – מזג אוויר, מסלול, מהירות וכיו"ב – ומאפשר לצבור ידע שיוטמע במכונית הממשית שמפתחת קבוצת פורמולה טכניון. ידע זה יקנה למכונית הטכניונית יתרון משמעותי בצאתה לתחרות. הסימולטור פותח בהנחייתם של ד"ר קירה רדינסקי מהטכניון, שהיא המדענית הראשית של eBay בישראל, אישיש קאפור מחברת מיקרוסופט ארה"ב ובעז שטרנפלד מהטכניון. הפרויקט נערך במרכז ובמעבדה למערכות נבונות בליווי מהנדס המעבדה ארם מוביסיסיאן.

*פרויקט הפורמולה בטכניון מנהל ע"י טל ליפשיץ, סטודנט לתואר ראשון בהנדסת אווירונאוטיקה וחלל. האחראי האקדמי הוא פרופסור ראובן כץ מהפקולטה להנדסת מכונות. מנחים נוספים: ד"ר לאוניד טרטקובסקי, נמרוד מלר, דוד נמרי, ד"ר נפתלי סלע ועוד.*

## 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 מכונות, בפעילויות ובהצלחות של מורים מובילים מהשטח, קיימנו ריאיון עם שני מורים מובילים מהמגמה: אמה מטאייב ומוחמד אבו-פודה.

### מידע כללי על בית הספר שאני מלמדת בו – אמה מטאייב

שם בית הספר: מקיף ה' דרכא אשקלון, תיכון אהל שם רמת גן.  
המגמות בבית הספר: מכטרוניקה, תחזוקת מערכות מכניות.  
מס' כיתות של המגמה של תחזוקה ושל מכטרוניקה: 5  
מס' המורים: 5  
מס' תלמידים: 65

### מידע כללי על בית הספר שאני מלמד בו – מוחמד אבו-פודה

שם בית הספר: תיכון אבו רומי - תמרה  
המגמות בבית הספר: קבוצה של רבוטיקה FIRST  
מס' כיתות של המגמה: 3  
מס' המורים: 3  
מס' תלמידים: 30

### ראיון עם המורים המובילים במגמה מכונות

אמה מטאייב: "עליתי מטג'יקיסטן בשנת 1990, אמא לשתי בנות, סבתא ל-3 נכדים. בעלת תואר שני בהנדסת חשמל מכשור ובקרה מטכניון טג'יקיסטן. סטודנטית לתארים מתקדמים בחינוך מדעי טכנולוגי באוניברסיטת תל אביב. עד גיל 32 התעסקתי בהנדסה, אך תמיד הסתכלתי לכיוון מוסדות החינוך. ואז עשיתי הסבה להוראה. אני מלמדת לוגיקה, בקרה, תכנות והנחיית פרויקטים. פעילות שאני שותפה בהן: תחרויות בארץ ובעולם, פרויקט מקס, פיתוח סביבות למידה, פיתוח דרכי הוראה בתחום רבוטיקה. ותק בהוראה בארץ 22 שנים" (איור 1: הראשונה מימין).

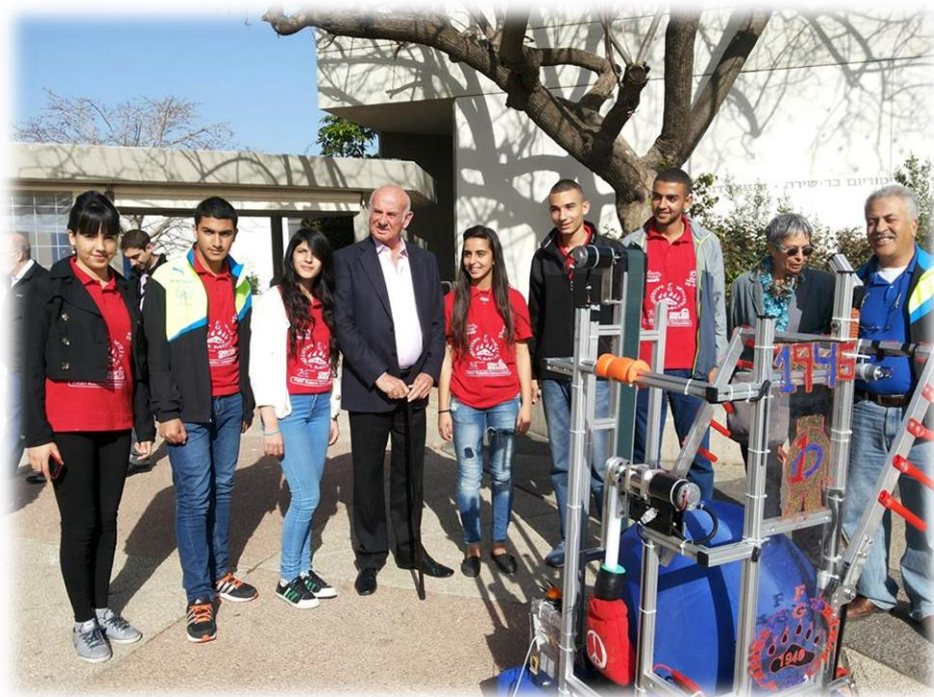


איור 1. ANGEL רובוטית רוקדת בסוכה של הנשיא שמעון פרס ז"ל בשנת 2012 במסגרת יום מדע וטכנולוגיה בסוכת הנשיא. (מימין לשמאל: אמה מטאייב, סיוון שפיזר, רובוטית ANGEL, שמעון פרץ, גלי לוי)

מוחמד אבו-פודה: "מוחמד אבו פודה מהנדס בעל תואר שני M.Sc. בהנדסת מכונות, בעל 25 שנה ותק בהוראה. ההתמחות שלי בתחום מנועי שריפה פנימית בנזין. עבדתי בתעשייה בפראג כמהנדס תכנון למערכות ממוחשבות לרכב סקודה, ניהלתי מרכז חקר חקלאי בבקעה ומדריך ארצי במגמת הנדסת מכונות. יושב ראש עמותת פירסט הגליל-FG, העוסקת בחינוך למדע וטכנולוגיה. FG הינו ארגון ללא מטרת רווח אשר נוסד בשנת 2010 מתוך מטרה לאפשר לצעירים לגלות את ההתרגשות והתגמול של תחומי ההנדסה, המדע והטכנולוגיה, כל זאת באמצעות תכניות רובוטיקה חדשניות. תכניות אלו המעוררות השראה בקרב ילדים ובני נוער, משלבות התרגשות, יצירתיות ומטפחות כישורי חיים ביניהם: ביטחון פנימי, תחושת מסוגלות, יכולת עבודה בצוות, יכולת קבלת החלטות, ניסיון בתכנון וניהול משאבים, כישורי מנהיגות ועוד, כל זאת על בסיס הערכים כמו מקצועיות אדיבה – Professionalism Gracious, למעורבות פעילה בקהילה" (איור 2, 3, 4).



איור 2. ימין: מוחמד אבו-פודה שופט בתחרות Championship FIRST Robotics בשנת 2019. שמאל: שיתוף פעולה בין לאומי עם מר בוב ניקולס מנהל מרכז קהילת הרובוטיקה של פירסט באוניברסיטת קטרינג, בתחרות First Robotics Championship Detroit בשנת 2019



איור 3. מוחמד אבו-פודה (הראשון מימין) עם תלמידי תיכון אבו רומי כיתות י', י"א וי"ב. התלמידים מצגים את הרובוט שלהם באוניברסיטה תל אביב, בכנס החינוך למדע וטכנולוגיה 2017



איור 4. בתמונה מימין מפמ"ר המגמה הנדסת מכונות ד"ר ירון דופלט תלמידי תיכון מרח אלגוזלאן יפיע נצרת, ומורה מגמת מכטרוניקה המהנדס ואסים חאמד, מנטור ראשי לקבוצה הרובוטיקה החדשה במסגרת תחרות פירסט רבוטיקה זכו בפרס (Rookie All Stars Award) בתחרות הבינלאומית ב- צ'מפיונשיפ דטרויט א"ה לשנת 2019

### **למה בחרתם במגמה מכונות?**

**אמה מטאייב:** "בחרתי במגמה זו כי זאת המגמה היחידה בין המגמות הטכנולוגיות שכל הזמן מסתכלת קדימה ומתאימה את דרכי ההוראה לעתיד של ילדים. במגמה הזאת כל הזמן מחפשים חידושים טכנולוגיים. כאן יש חופש ליצור. צוות המגמה מאוד מעצים, נעים לעבוד בצוות הזה".

**מוחמד אבו-פודה:** "בחרתי במגמת מכונות לסיבות הבאות: כי המגמה מאופיינת בלמידה בסביבה פתוחה ועצמאית אשר נוגעת בתחומים נוספים, כגון: אלקטרוניקה, ביומכניקה ותוכנה, ניהול, שווק ועיצוב פרויקטים. בנוסף, העבודה עם מפמ"ר המגמה, ד"ר ירון דופלט, מעצימה ומאפשרת לכל המורים להתפתח ולקדם את החינוך הטכנולוגי".

### **כיצד מקדמים ומובילים את המגמה בבית הספר?**

אנו מקדמים את המגמה ע"י:

1. חיפוש פעילויות חוץ בית ספרית, כמו תחרות הרובוטיקה. פעילויות אלו הן הכלי לתלמידים ללמוד מיומנויות לחיים.
2. הכנסת הוראה התנסותית כמו למידה סביב פרויקטונים.
3. הפסקה פעילה בבית הספר: יצירת עמדות שונות ברחבת בית הספר וכל כיתה מציגה את הפרויקטונים שלה.
4. הכנסת רובוטיקה לחטיבת ביניים זה נותן רצף לימודי בתחום הרובוטיקה מכיתה ז' עד י"ב.
5. תלמידי כיתות י' וי"א מתנדבים במגוון תפקידים: שופטים ובוחרים, יועצים טכניים, מתנדבים כלליים, בפעילות מתקיימת במסגרת 4 תכניות שונות:
  - **LEGO League Jr FIRST** (גן חובה-כיתה ד')
  - **LEGO League FIRST** (כיתה ד'-ט')
  - **Tech Challenge FIRST** (כיתה ח'-י"ב)
6. הערכת תוצר התלמידים בעזרת מחוון מוגדר, העוזר להערכת התהליך הלימודי.
7. שיתוף פעולה מצד המורים המובילים במגמה ומעורבותם הפעילה בקהילה ותרומת ניסיונם האישי למורים מתחילים וחדשים במגמה.

### **מה האני מאמין שלך כמורה?**

**אמה מטאייב:** "אני כמורה מקנה לילדים מיומנויות לחיים ומפתחת אצלם חשיבה וראיית עולם שיעזרו להם להצליח בחיים. זה לא רק ידע אלא, גם יחסים בין אישיים, ערכים, במיוחד כבוד הדדי ועזרה לזולת".

**מוחמד אבו-פודה:** "אני כמורה, כמחנך וכמדריך, חובתי לאפשר לצעירים לגלות את ההתרגשות והתגמול של תחומי ההנדסה, המדע והטכנולוגיה, כל זאת באמצעות תכניות רובוטיקה חדשניות. תכניות אלו מעוררות השראה בקרב ילדים ובני נוער".

### **מהם האתגרים בלימודי המגמה?**

**אמה מטאייב:** "לגלות את המסוגלות של כל ילד ולהביא אותו להתפתחות המקסימלית בתחום שהוא חזק בו. ישנו אתגר אישי שלי שתלמידי מכטרוניקה ותלמידי תחזוקה יעשו פרויקטים משותפים. בנוסף לקידום ולפיתוח פרויקטים בין תחומיים עם המגמות: מחשבים, אומנות, תיאטרון, מוזיקה ותקשורת".

**מוחמד אבו-פודה:** "האתגרים שלנו עצומים, אנחנו צריכים להכין התלמידים למשרות שאינן קיימות או שטרם פותחו! שיהיו מוכנים ל Industry 4.0 ולהכין אותם כדי לפתור בעיות שטרם הוגדרו, להאיר את הדרך לשימוש בטכנולוגיות שלא הומצאו, ולא לפחד".

**מהם ההישגים המרשימים ביותר של התלמידים שלכם בשנים האחרונות?  
אמה מטאיב:**

- 2013 - מקום ראשון בארץ, מקום שני בין האוניברסיטאות ומקום ראשון בין התיכונים בתחרות ROBOWAITER העולמית עם 2 תלמידי י"א מתיכון אהל שם (איור 5).



איור 5. אמה מטאיב עם תלמידיה הזוכים במקום ראשון בארץ בתחרות ROBOWAITER בשנת 2013



- 2014 - מקום ראשון בין רובוטים שמשחקים כדורגל בסופרטיים ומקום רביעי בין רובוטים רוקדים בתחרות עולמית בברזיל עם תלמידי "א ו"ב מתיכון אהל שם, רמת גן (איור 6).



איור 6. אמה מטאייב עם תלמידיה הזוכים בתחרות הרובוטים העולמית ROBOCUPJUNIOR בברזיל בשנת 2014. (בתמונה מימין לשמאל: אמה מטאייב, רובוט תמיר, עדן פאל, אורטל גוליאן, מיקה וינר, יובל שטרקמן, רובוטית דנה, מריה קוקין, יסמין גבאי, מאיה עידן, יוני ברכה, עידן נוטי, בני הוד, דניאל לביא עם הגביע, דוד מוזיקנט)

- 2018 - מקום ראשון בתחרות הלאומית לרובוטיקה והנדסה, בשירות האדם והחברה על תכן מכני עם רובוט DOGYSITTER עם תלמידי "ב' ממקיף ה' באשקלון (איור 7).



איור 7. אמה מטאייב עם תלמידיה ממקיף ה' אשקלון, הזוכים בתחרות רובוטיקה בשירות האדם והחברה עם הרובוט דוגיסיטר, ששומר על הכלב בבית ומתקשר עם הבעלים דרך אינטרנט. (בתמונה מימין לשמאל: ישראל וורונצוב, אלכס גורבטיוק, ריטה גולן, דניאל ליבשין, סתיו רוקר, אמה מטאייב)

- 2019 - מקום ראשון בתחרות CAD ארצית. תלמידי מקיף ה' דרכא אשקלון (איור 8).



איור 8. תלמידי מקיף ה' דרכא אשקלון עם המורות. (מימין לשמאל: אמה מטאייב, דניאל זברובסקי, ריטה גולן, שמעון וורונצוב, איליה מלר, ישראל וורונצוב)

- **מוחמד אבו-פודה:** "לאפשר לתלמידים לגלות את היישום של המתמטיקה והמדע בפרויקטים שהגדירו בעצמם, ההתרגשות והתגמול של תחומי ההנדסה, המדע והטכנולוגיה, כל זאת באמצעות למידה מבוססת פרויקטים (PBL) או למידה מבוססת תוצר (Product), התלמידים רוכשים ידע בעודם עסוקים בתרגול מיומנויות המאה ה-21, באמצעות תהליך הלמידה. מתמודדים עם אתגרים עיצוביים ויצירתיים. כדי שיוכלו להגיע להישגים הם צריכים ללמוד לעומק את הנושאים הקשורים לפרויקט, לשאול שאלות ולמצוא להן תשובות בכוחות עצמם. ליצור תוצר איכותי ולהציג אותו בפני קהל. בפרויקט שנעשה בעבודת צוות של קבוצה קטנה ובהנחיה של המורה כמנחה, ותרומה לחברה להתנדב ולתת".

#### **איזה טיפים הייתם מוסרים למורים מתחילים?**

**אמה מטאייב:** "הוראה וחינוך הם יצירת עתיד האנושות. המורה תמיד צריך לחפש חלומות ולהתמקצע כדי להגשים אותם".

**מוחמד אבו-פודה:** "אם אתם אוהבים את התלמידים שלכם, אתם יכולים להצליח בכל הדרך".

#### **מה הייחודיות של פרויקטי הגמר במגמה שלכם?**

**אמה מטאייב:** "פרויקטי גמר במגמות שלי הינם פרי יצירתם של התלמידים. הם שונים ומגוונים. התלמידים בוחרים נושא שמעניין אותם, צורך אמיתי מהחיים שלהם. זה גורם לכך שהם הבעלים של הפרויקט. תלמיד אחד אמר לי: אמה, לא משנה שהרובוט שיצרתי קצת מכוער ולא תמיד עושה מה שאני מבקש ממנו. אני אוהב אותו כמו baby שלי".

מוחמד אבו-פודה: "פרויקט אמור לתת לתלמידים הזדמנויות לרכוש מיומנויות של המאה ה-21 כגון שיתוף פעולה, תקשורת, חשיבה ביקורתית, פתרון בעיות ושימוש בטכנולוגיה, אשר ישמשו אותם בחיים ובמקומות העבודה העתידית".

**תודה לאמה ולמוחמד 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](mailto:moretech@ed.technion.ac.il)

## כנס המהנדסים הצעירים תשע"ט

מר דב רוטו

מדריך ארצי המגמה המדעית-טכנולוגית, משה"ח

בתאריך ה- 26 לפברואר 2019, כ"א באדר א' תשע"ט, יום שלישי, נערך כנס המהנדסים הצעירים ה- 14 לקיומו והשמיני בטכניון.

הכנס מהווה אקורד סיום של למידה בת שלוש שנים במגמה המדעית – טכנולוגית (המדעית – הנדסית). בכנס השתתפו תלמידי י"ב, אשר הציגו את פרויקטי הגמר שלהם ותלמידי כיתות ט' המועמדים ללמוד במגמה. הכנס נערך על ידי משרד החינוך-מנהל מדע וטכנולוגיה-הפיקוח על המגמה המדעית טכנולוגית במשותף עם מכון גורלניק ברשת אורט. הכנס נערך בשיתוף עם הטכניון, חיפה.

בכנס השתתפו כ- 200 תלמידי י"ב מ-14 בתי ספר, 300 תלמידי כיתות ט', כ- 50 מורים מלווים, 40 שופטים מהתעשייה, אקדמיה וצה"ל : אינטל, אלביט, מיקרוסופט, IBM, ביוסנס, רפאל, אמזון, טכניון, צה"ל, קואלקום, מהנדסי אלסינט לשעבר, קונולוג ועוד; ו כ- 20 אנשי משרד החינוך מכון גורלניק, ומבקרים שונים (איור 1).



איור 1. תמונות מכנס המהנדסים הצעירים פברואר 2019, הטכניון

### **מטעם משרד החינוך נכחו בכנס:**

ד"ר אהרון שחר – מנהל אגף (מגמות מדעיות הנדסיות), מינהל מדע וטכנולוגיה  
מר שלומי אחנין – מפמ"ר מגמה מדעית-טכנולוגית (מדעית-הנדסית) ומגמת אלקטרוניקה ומחשבים  
מר דב רוסו – מדריך ארצי במגמה המדעית-טכנולוגית (מדעית-הנדסית)

### **מטעם אורט נכחו בכנס:**

מר יואל רוטשילד – ראש המנהל למו"פ והכשרה ברשת אורט  
מר רן סופר- ראש מכון גורלניק ברשת אורט  
מר דורון דרוקר – מנהל הוראה במגמה המדעית-טכנולוגית (מדעית-הנדסית) ברשת אורט.

### **מטעם הטיכניון נכחו בכנס:**

פרופ' אדם שוורץ – המשנה הבכיר לנשיא הטיכניון  
ד"ר אמונה אבו-יונס עלי – מנהלת מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים, מור-טק.

### **תיאור כללי לכנס**

הכנס השנה בלט ברב גוניות של נושאי הפרויקטים: חברה, מדע, אסטרונומיה, רחפנים, אקולוגיה, ביורפואה, רובוטיקה, לוויינים ועוד. אחד הנושאים המועלים בימים אלו כפדגוגיה חדשה היא הרב גוניות ואו הרב תחומיות של נושאי הלמידה. זה בא לידי ביטוי ברעיונות שעלו בפרויקטים וברמת הצרכים שנדרשו כדי לקיים זאת לדוגמא:

למידה רב תחומית מאלצת להתייעץ עם גורמי חוץ בית ספריים, זה מניע לקיום שיתופי פעולה עם התעשייה, עם האקדמיה, עם ראשי מחלקות בבתי-חולים עם צרכים חברתיים, עם יזמים ועוד. למידה רב תחומית מאלצת את הלומד להיות בעל יכולת למידה עצמית ראינו זאת במספר שפות התכנות שהתלמידים השתמשו. רובם כלל לא נלמדו ע"י מורים וגם אינם נמצאים בתוכנית הלימודים. למידה רב תחומית מדגישה את הצורך בהכשרת המורה כמנחה ולא כאוטוריטה. אלה הן קצת ממה שראינו בכנס האחרון. אני כבר לא מדבר על חשיבה יוזמה כבסיס ליצירה, על חשיבה יצירתית או לחילופין על גמישות מחשבתית. כל אלו הם תוצאות נלוות ללמידה הרב תחומית. השנה הוספנו בכנס שני אלמנטים פדגוגיים חדשניים:

הראשון: הכנת התלמידים לסגנון הצגה בשיטת עקרונות ה-Pitch.

השני: במעמד 600 תלמידים הצגת הפרויקט בפני שלושה יזמים.

אין ספק שזה מעכשיו יהיה הטריגר להיכנס למקצוענות בנושא הצגת נתונים בפני קהל. התלמידים ראו שהרעיונות, השאלות, מקצועיות השופטים הן בהחלט מהותיות ובאות מתחום חיי-היום.

### **זכיות ופרסים**

- פעילות אתגרית כיתות ט':

א. תיכון שמיר פ"ת

ב. בית חינוך ניסויי ע"ש רבין תל מונד

ג. אורט בוסתאן אל מארג' כפר נין

פעילות תלמידי ט' מקום ראשון, שני, שלישי גאדג'טים בסכום 6,000 ש"ח (כמות 35 פריטים שונים לכל זכייה).

- בחירת תלמידי כיתות ט' חביב הקהל: מערכת ליווי לילדים עם אוטיזם Selfigate מביה"ס תיכון מור מטרווסט רעננה.
- הענקת פרס משפחה לתלמידים בעלי הישגים לימודיים הגבוהים ביותר לשנת תשע"ח ועשייה חברתית משמעותית. הפרס הינו מענק בסכום 3,000 ₪: יצא קול קורא בנושא לכל בתי הספר המשתתפים בתחרות: קריטריון לזכייה: ציון 100 במקצוע המוביל מדעי – ההנדסה בקיץ תשע"ח ופעילות משמעותית בתרומה לקהילה.
  - א. מרן עילם מביה"ס אורט מודיעין ד'
  - ב. ביתן יואב מביה"ס בית חינוך ניסויי ע"ש רבין תל מונד
  - ג. סיקורסקי דניאל, מביה"ס קריית שרת חולון
- ששת הפרויקטים שעלו לגמר
  - א. מדרס חכם לטיפול בכף רגל סוכרתית, DFSI מביה"ס בית חינוך ניסויי ע"ש רבין תל מונד
  - ב. Face2Face מערכת לשיפור איכות חולי אלצהיימר מביה"ס בית חינוך ניסויי ע"ש רבין תל מונד
  - ג. מערכת להפקת מים ראויים לשימוש באנרגיה טבעית מביה"ס קריית משה שרת נתניה
  - ד. חדרי בריחה במציאות מדומה כשיטת לימוד מביה"ס קריית משה שרת נתניה
  - ה. ממד חכם אוטומציה של חלון ההדף - תאורה מיזוג במרחב המוגן, תיכון שמיר פ"ת
  - ו. מערכת הסבה למצפה אוטונומי מביה"ס אורט, רחובות
- שלושת הפרויקטים הזוכים
  - א. מערכת להפקת מים ראויים לשימוש באנרגיה טבעית מביה"ס קריית משה שרת נתניה
  - ב. מדרס חכם- לטיפול בכף רגל סוכרתית, DFSI מביה"ס בית חינוך ניסויי ע"ש רבין תל מונד
  - ג. Face2Face מערכת לשיפור איכות חולי אלצהיימר מביה"ס בית חינוך ניסויי ע"ש רבין תל מונד

פרסי הפרויקטים:

  1. מקום ראשון לכל הקבוצה מלגה לשנת לימודים אחת מלאה בטכניון, אונ' ת"א, אונ' ב"ש ואונ' העברית גבעת רם.
  2. מקום שני לכל הקבוצה 75% מלגה לשנת לימודים אחת מלאה בטכניון, אונ' ת"א, אונ' ב"ש ואונ' העברית גבעת רם.
  3. מקום שלישי לכל הקבוצה 50% מלגה לשנת לימודים אחת מלאה בטכניון, אונ' ת"א, אונ' ב"ש ואונ' העברית גבעת רם.

### על המגמה המדעית-טכנולוגית

המגמה המדעית-טכנולוגית הינה מגמה פורצת דרך. הלימודים במגמה משלבים בין לימודי מקצוע מדעי מורחב (פיזיקה/כימיה/ביולוגיה) והנדסה רב-תחומית: מערכות אלקטרוניות, אלגוריתמיקה, הנדסת חלל ואווירונאוטיקה, רובוטיקה ובינה מלאכותית והנדסת ביו-רפואה.

המגמה המדעית-טכנולוגית (מדעית-הנדסית) מיועדת לתלמידים בעלי יכולת לימודית גבוהה המתכננים להמשיך את לימודיהם באקדמיה בכלל ובתחום המדע, הרפואה ו/או ההנדסה בפרט. מטרת המגמה היא להקנות בסיס-מדעי איתן, המשלב רמה גבוהה של מיומנויות למידה, חקר ותכנון בסביבות עתירות טכנולוגיה, המהוות גירוי מתמיד לחשיבה ופתרון בעיות בהנדסת אנוש והיבטים חברתיים. תחומי הדעת במגמה מכוונים לתלמידים מצטיינים בתחומי מדע והנדסה וליזמים המגלים נכונות לעבוד בצוות ולתרום לחברה. לימודי המגמה דורשים היקף לימודים מוגבר לבגרות במתמטיקה ובשפה האנגלית.

הלימודים במגמה מורכבים משלושה תחומים:

- א. לימודי התמחות: הנדסת חלל ואווירונאוטיקה / רובוטיקה ובינה מלאכותית / הנדסת ביו-רפואה.
- ב. מערכות אלקטרוניות: אלקטרוניקה תקבילית וספרתית.
- ג. אלגוריתמיקה: תכנות חומרה בשפה עילית.

### יתרונות המגמה

1. בגרות יוקרתית בהרכב של 15 יח"ל.
2. בונס מורחב בטכניון ובאוניברסיטאות עבור כל מקצועות המגמה.
3. בוגרי המגמה זכאים לתעודת הסמכה טכנולוגית-מדעית (רמה 3.3)
4. הצבא מאתר את התלמידים המוכשרים לתפקידים איכותיים ויוקרתיים.
5. בסיס איתן להשתלבות מוצלחת בכל תחומי ההשכלה הגבוהה המדעית וההנדסית.

## יריד המגמות הטכנולוגיות 2019 - בסגנון "עיר חכמה", סטארט אפ ניישן

רונית נחמיה

ממונה התכנית הלאומית להתאמת מערכת החינוך למאה ה-21  
מינהל מדע וטכנולוגיה, משה"ח

תמונה אחת כבר לא יכולה להמחיש את הכותרות למעלה, התנסות רב חושית כן, זה מה שחוו למעלה מ-30,000 תלמידי שכבת ט' ממג'דל שמש ועד אילת לצד 4,000 מבקרים מכל קשת העשייה הטכנולוגית בארץ.

וזאת למה?

אנו מאמינים שהחינוך הטכנולוגי הוא המענה האמיתי להמשך ביטוי יכולותיה של המדינה, ותפקידנו להנחיל יכולות אלו לדורות העתיד. החינוך הטכנולוגי מאפשר ביטוי אישי מותאם לכל תלמיד ומזמן למידה משמעותית חווייתית. כך מלווים ראשי התעשייה ומפקדי צה"ל את התלמידים בדרכם לחינוך הטכנולוגי. נציגים של כ-40 חברות במשק השתתפו ביריד המגמות הטכנולוגיות של משרד החינוך לצד חמישה חילות צה"ל: אוויר, ים, יבשה, מודיעין ותקשוב.



איור 1. צוות היריד

היריד, שנערך זו השנה השלישית, התקיים בהיכל הטוטו בחולון בחודש פברואר. מטרתו הייתה לעודד תלמידים לבחור באחת מ-21 המגמות בהן 43 התמחויות הקיימות במסגרת החינוך הטכנולוגי במשרד החינוך. תפקידם של התעשייה והצבא: להמחיש לתלמידים את האפשרויות הגלומות בעולם העבודה, ולפתוח להם צוהר לאופק שירות בצה"ל ואופק תעסוקתי בתעשיות השונות.

במהלך הביקור ביריד, התלמידים נחשפו למגמות הטכנולוגיות, שמוצעות לתלמידים כיום במערכת החינוך וצפו במיצג מושקע במיטב טכנולוגיות המולטימדיה והווידיאו, עם דמויות המוכרות להם מהרשתות החברתיות ומתכניות הטלוויזיה. לקראת פתיחת היריד פותחה אפליקציה בשם Gotech שבאמצעותה התלמידים יכלו לראות מה מציעה כל מגמה ולאלו מקצועות היא מכוונת.

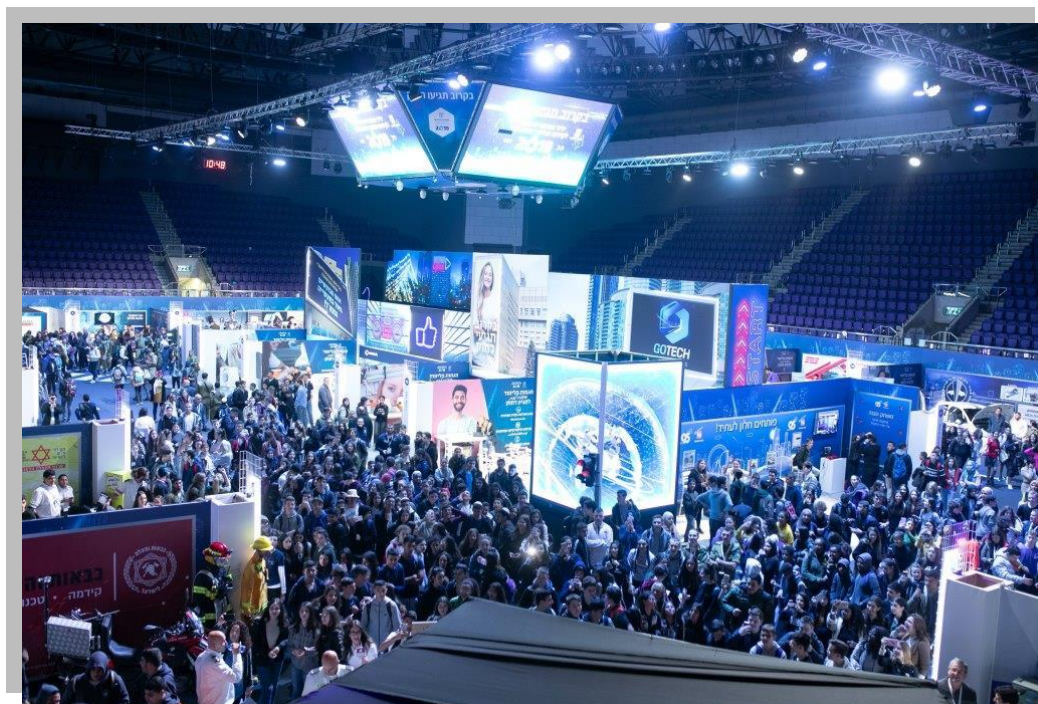


לירד שלושה חלקים: אוהל המגמות (איור 2) המציג את כל המגמות הקיימות במשרד החינוך. לכל מגמה הופק סרטון הממחיש את תכני הלימוד ואפשרויות להתנסויות בתעשייה, החלק השני כלל מיצג מרהיב בשפת הנוער המעודדת להירשם למגמות, בחלק האחרון ביקור בתערוכה במשך כשעה.



איור 2. אוהל המגמות

בתערוכה התלמידים נחשפו לתצוגה המרהיבה והמושקעת של החברות, בהן רפאל, נובל אנרג'י, טלדור, מפעיל, אורבוטק, אלביט, חברת חשמל, מוטורולה, מאטריקס ועוד (איור 3). בתערוכה הייתה נציגות בולטת ליחידות הטכנולוגיות של צה"ל בזרועות היבשה, התקשוב, היס, המודיעין והאוויר. בני הנוער השתתפו בפעילות חווייתית, שבמסגרתה הם הפעילו טכנולוגיות לנטרול מנהרות טרוו, רובוטים תת ימיים, סימולטורים של טיסה, וקיבלו המחשה כיצד עובדות מערכת "כיפת ברזל" ומערכות הגנה מפני תקיפת סייבר.



איור 3. אולם התערוכה

בעיניים של צה"ל מטרת היריד - להעלות את המוטיבציה בקרב אותם הנערים לבחירת מגמות טכנולוגיות, ובכך להביא להגדלת מקורות כח האדם העתידיים בצה"ל, ולחשוף בפניהם תפקידים בצה"ל שלא ידעו על קיומם.

ד"ר עופר רימון, סמנכ"ל מינהל תקשוב, טכנולוגיה ומערכות מידע במשרד החינוך, שמוביל את היריד מאז התחלתו, אמר כי "התחלנו לפני שלוש שנים עם השתתפות של 20 אלף תלמידים והשנה עברנו את 30 אלף תלמידים. המטרה שלנו אינה לשכנע, אלא לחשוף בפני התלמידים את כל האפשרויות הקיימות בכל מה שקשור לחינוך הטכנולוגי – בדרך הכי נכונה לעשות זאת, על ידי מפגש עם העולם האמיתי, עם הצבא ועם התעשייה".

"תפקידה של התעשייה הוא להמחיש לצעירים, שבאים ליריד, אילו אפשרויות קיימות בעולמות הטכנולוגיה, אילו אתגרים מרתקים יעמדו בפניהם, ולגרום להם לבחור במקצוע ובמגמה הכי מתאימים להם. הם יודעים הכי טוב להסביר – הרבה יותר טוב מכל מורה בבית ספר", אמר רימון. לדבריו, "המציאות של מחסור בכוח אדם הביאה את התעשייה לתובנה שחייבים לנתב ילדים ללמוד כבר כעת את מקצועות העתיד, כי הם מהווים את העתודה האנושית שלה".

רימון ציין כי "ההצלחה האדירה של היריד מסמלת את השינוי שחל בחינוך הטכנולוגי. הסתיימה הדיכוטומיה שהייתה קיימת במשך שנים, ושבאה לידי ביטוי בהפרדה בין החינוך לתעשייה ולטכנולוגיה לבין התעשייה הטכנולוגית. תלמידי המגמות הטכנולוגיות מבצעים עבודה מעשית ועבודת גמר באחד ממפעלי התעשייה עצמה. חלק מהחברות, שמציגות בתערוכה ביריד מארחות אצלן במשך השנה תלמידים שמתנסים ולומדים את מקצועות העתיד. בכך ישראל הולכת בעקבות מדינות אירופה מתקדמות, שבהן התעשייה מעורבת בחינוך הטכנולוגי".

השנה שידרגנו גם את מוכנות התלמידים ליריד. לקראת היריד עברו מדריכים בבתי הספר והסבירו לתלמידים מה צפוי להם, אחרי היריד הם חזרו לבתי הספר על מנת לשמוע את תגובות התלמידים שביקרו.

בעקבות היריד נמדדו הנתונים מהשנתיים האחרונות שמראים על גידול משמעותי במספר הפונים לחינוך הטכנולוגי, וההערכה היא שליריד יש תרומה משמעותית. הדבר בא לידי ביטוי גם במשובים שהתלמידים מעבירים אחרי הביקור. כיום מספר התלמידים המסיימים תעודת בגרות במסלול הטכנולוגי גבוה ממספר התלמידים המסיימים בגרות בחינוך העיוני.

חידוש נוסף, היה פתיחת היריד להורי תלמידים בכיתה ט' שמתלבטים לאיזו מגמה לרשום את ילדיהם. תפקידם של ההורים בשלב הזה של חיי התלמידים הוא קריטי, ולא תמיד המידע שיש בידי רכזי המגמות הוא מלא. לכן, אין דרך טובה יותר מאשר להפגיש גם את ההורים עם התעשייה, עם הדברים האמיתיים המתרחשים בשטח.



לסרטון יריד התעשייה וצה"ל לקידום החינוך הטכנולוגי סרקו את הברקוד.

## נגיעות ממחקרים מובילים בטכניון

באדיבות דוברת הטכניון

### 1. הרנסנס של מזור

"ריפוי מבוסס חדשנות" - זה המוטו של חברת מזור רובוטיקה, שרשמה לאחרונה שיא חדש בענף הביו-רפואה בישראל עם ההכרזה על רכישתה על ידי מדטרוניק תמורת 1.6 מיליארד דולר. מזור נוסדה על בסיס הטכנולוגיה שפיתח פרופ' משה שהם מהפקולטה להנדסת מכונות. החברה מפתחת רובוטים המסייעים לרופאים בניתוחי גב ובניתוחי מוח. עד כה בוצעו בסיועם של הרובוטים של מזור כ- 36 אלף ניתוחים וכרבע מיליון משתלים. הרובוטים של מזור רשמו אחוזי דיוק גבוהים יחסית לניתוח ביד חופשית, וכך הם מסייעים למנתחים וכמובן למנותחים. פרופ' שהם הוא כיום אחד המומחים המובילים ברובוטיקה רפואית, תחום שבו הוא מתמקד מאז חזרתו לישראל משבתון



איור 1. הרנסנס של מזור

באוניברסיטת סטנפורד. את מזור רובוטיקה הוא הקים ב- 2001 במסגרת חממת הטכניון, וכעבור שנתיים עברה החברה לקיסריה. בתחילת הדרך התמקדה מזור בניתוחי גב וב- 2005 קיבלה את אישור ה- FDA לשיווק הרובוט הראשון שלה, SpineAssist. הרובוט היה מערכת ההנחה הראשונה בעולם הזמינה באופן מסחרי לביצוע ניתוחים בעמוד השדרה. ב- 2011 השיקה החברה את מערכת Renaissance המסייעת בהחדרה של אלקטרודות למוח לטיפול במחלות נוירולוגיות (גירוי מוחי עמוק). מאז שנוסדה מזור הקים פרופ' שהם חברות

נוספות בתחום הרובוטיקה הרפואית: Microbot Medical מפתחת רובוט זעיר המונע סתימות בנקזי מוח ומבצע פעולות חיוניות נוספות; Xact Robotics פיתחה רובוט לניווט מכשור רפואי בגוף; Robotics Diagnostic משלבת רובוטיקה ובינה מלאכותית כדי לשנות באופן מהותי את הטיפול בחולה בחדרי מיון. החברה בראשות המנכ"ל אורי הדומי, פיתחה את "רנסנס" (איור 1), מערכת רובוטית הממקמת את כלי הניתוח בניתוחי עמוד שדרה ומשפרת דרמטית את רמת הדיוק של הניתוח, וזאת באמצעות הדמיה תלת-ממדית המסייעת למנתחים כבר משלב התכנון.

### 2. לראות מבעד לעננים - מענק אירופי גדול לפרויקט הבין-לאומי CloudCT לניטור אקלים

עשרה לוויינים, שמשקל כל אחד מהם שלושה ק"ג וגודלו כשל קופסת נעליים, ישוגרו בתוך שנים ספורות לטיסת-מבנה במסלול סביב כדור הארץ ויספקו מידע חסר תקדים על עננים והשפעתם על האקלים. המערכת החדשנית תספק נתונים על ההרכב הפנימי והמבנה החיצוני של עננים באמצעות טכנולוגיה שפותחה בהשראת CT רפואי - הממפה באופן תלת-ממדי את פנים הגוף. באמצעות חקר שדות של עננים קטנים, שאינם נמדדים היטב בטכנולוגיות הלוויינים הנוכחיות, צפוי הפרויקט לצמצם אי-ודאויות משמעותיות הקיימות כיום במידול האטמוספירה ובחיזוי שינויים באקלים.

את הפרויקט מובילים: פרופ' יואב שכנר מהפקולטה להנדסת חשמל ע"ש ויטרבי בטכניון, מומחה בראייה ממוחשבת ובטומוגרפיה ממוחשבת; פרופ' אילן קורן מהמחלקה למדעי כדור הארץ וחקר כוכבי הלכת במכון ויצמן למדע, מומחה בפיזיקה של עננים וגשם; ופרופ' קלאוס שילינג מהמכון

לטלמטיקה בוורצבורג, גרמניה, מומחה בטכנולוגיות טיסות-מבנה של לוויינים זעירים. פרויקט CloudCT זכה במענק של 14 מיליון יורו מהמועצה האירופית למחקר במסגרת תוכנית הסינרגיה שלה (Program Synergy ERC). תוכנית זו נוסדה במטרה לייצר "שלמים הגדולים מסך חלקיהם", כלומר לעודד שאלות מחקר שאפתניות המצריכות שיתוף פעולה בין כמה חוקרים ושילוב של יכולותיהם המשלימות. 14 מיליון יורו הם הסכום הגבוה ביותר שהמועצה רשאית להקצות במסגרת התוכנית, וזו השנה הראשונה שמדענים ישראלים זוכים במענק מסוג זה. עננים ממלאים תפקיד מרכזי במאזן האנרגיה ובמחזור המים בטבע. עם זאת, אפילו שגיאות קטנות בהערכת תכונותיהם עלולות לגרום טעויות מהותיות בחיזוי האקלים. לדברי פרופ' קורן, "כיום לוויינים משמשים לחקר מבני עננים גדולים ברזולוציה שאינה מספיקה לצפייה בעננים קטנים. גם עננים קטנים משפיעים על האקלים ומושפעים מאוד משינויים בו, ולכן חשוב לפתח דרכים למדידת תכונותיהם ולחקר יחסי הגומלין שלהם עם תנאי סביבה משתנים. פרויקט CloudCT יסלול את הדרך לכך".

לדברי פרופ' שכנר, "הרעיון למדידת תוכן פנימי (טומוגרפיה) של עננים מהחלל התפתח בהשראת ה-CT הרפואי. בדומה לטכנולוגיית דימות זו ביישומה הרפואי, התמונות ב-CloudCT יצולמו מכיוונים רבים סביב הענן ומעליו. הצילום הרב-כיווני יתבצע בעת ובעונה אחת באמצעות לוויינים זעירים וזריזים מאוד הנעים בטיסת מבנה אוטונומית. עם זאת, בניגוד ל-CT רפואי, שבה יש שליטה פעילה במקור המקרין על הגוף, כאן נסתמך על קרינת שמש טבעית ועל פיזור האור הקיים. זה אחד האתגרים הגדולים בפרויקט".

אתגר נוסף הוא יצירתה של רשת לוויינים אוטונומית המקיימת בתוכה תיאום רב, יכולות תגובה



ובקרה מדויקת. לדברי פרופ' שילינג, "מערכת הלוויינים המבוזרת שאנו מפתחים לטובת הפרויקט היא דוגמה ליכולת של מערכת תוכנה חדשנית לפצות על מגבלות הנובעות מהמזעור. חדשנות זו תאפשר לנו לפתח רשת לוויינים בעלת ארגון עצמי אוטומטי ולקדם תפיסות חדשות של תצפית ושל פיתוחים מדעיים בכלל".

לסרטון המסביר את הפרויקט סרקו את הברקוד.

### 3. חומרה למחשבה

חוקרים בפקולטה להנדסת חשמל ע"ש ויטרבי בטכניון פיתחו חומרה חדשנית המאיצה את תהליך הלמידה של מערכות בינה מלאכותית. את המחקר הובילו ד"ר שחר קוטינסקי והדוקטורנטית צפנת גרינברג-טולדו, והשתתפו בו הסטודנטים רועי מזור ואמיר חאג' עלי. מאמרם פורסם בכתב העת Systems and Circuits on Transactions IEEE שמוציאה האגודה הבין-לאומית למהנדסי חשמל ואלקטרוניקה (IEEE).

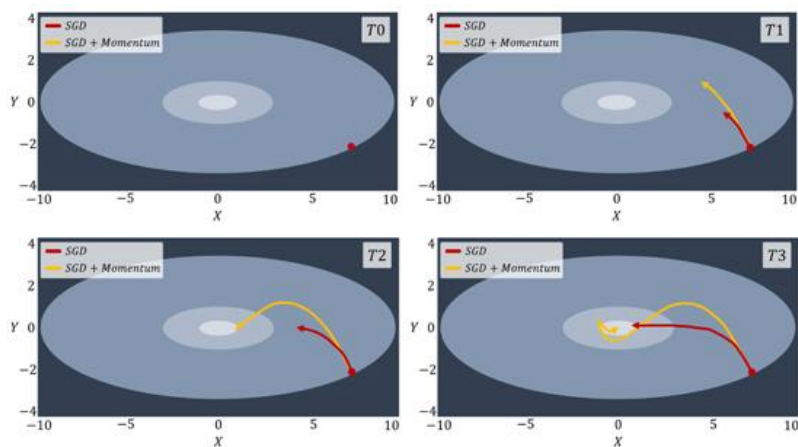
בשנים האחרונות חלה התקדמות משמעותית בעולם הבינה המלאכותית, בעיקר הודות למודלים של רשתות נוירונים עמוקות (DNNs). רשתות אלה, שתוכננו בהשראת המוח האנושי ודרכי הלמידה של האדם, מבצעות בהצלחה חסרת תקדים משימות מורכבות כגון נהיגה אוטונומית, עיבוד שפה טבעית, זיהוי רגשות בטקסט, תרגום, זיהוי תמונה ופיתוח טיפולים רפואיים חדשניים.

זאת באמצעות למידה עצמית מתוך מאגר עצום של דוגמאות, תמונות למשל. טכנולוגיה זו מתפתחת במהירות בקבוצות מחקר אקדמיות כמו גם בחברות ענק כגון פייסבוק וגוגל, הרתמות אותה לצורכיהן.

מכיוון שהלמידה מדוגמאות דורשת כוח מחשוב רב היא מבוצעת לרוב במחשבים המכילים מעבדים גרפיים (GPU) המצטיינים בכך. עם זאת, מהירותם של מעבדים אלה עדיין נמוכה יחסית לקצב הלימוד הרצוי של רשתות הנוירונים ולכן המעבד הוא עדיין צוואר בקבוק בתהליך זה. יתר על כן, השימוש במעבדים צורך אנרגיה רבה.

קבוצת המחקר של ד"ר קוטינסקי פיתחה, ברמה התאורטית, מערכות חומרה המותאמות במיוחד לעבודה עם רשתות אלה ומאפשרות לרשת הנוירונים לבצע את שלב הלמידה במהירות גבוהה ובאנרגיה מופחתת אשר משפרת את מהירות החישוב פי אלף ומצמצמת את הצריכה האנרגטית ב-80%.

בחומרה שפיתחה הקבוצה יש פריצת דרך ושינוי תפיסתי של ממש: במקום שיפור של מעבדים קיימים פיתחו החוקרים מבנה של מכונת חישוב תלת-ממדית שהזיכרון מוטמע בה. אף שמדובר בעבודה תאורטית, הקבוצה כבר הדגימה את יישומו של הפיתוח ברמת הסימולציה. לדברי ד"ר קוטינסקי, "הפיתוח שלנו נועד לעבודה עם אלגוריתם הלמידה 'מומנטום' (איור 2), אבל הכוונה היא להמשיך בפיתוח החומרה כך שתתאים גם לאלגוריתמים נוספים. ייתכן שבמקום כמה רכיבי חומרה שונים נפתח חומרה דינמית, רב-תכליתית, שתוכל להתאים את עצמה לאלגוריתמים שונים".



איור 2. קצב הלמידה המהיר באלגוריתם מומנטום (בצהוב) לעומת אלגוריתם רגיל (SGD, באדום)

#### 4. הנעה אופטימלית

קבוצת מחקר משלוש פקולטות בטכניון: הפקולטה למתמטיקה, הפקולטה לפיזיקה והפקולטה להנדסה כימית ע"ש וולפסון פענחה את התצורה האופטימלית להנעת רובוטים זעירים השוחים בגוף האדם. את המחקר, שהתפרסם בכתב העת Robotics Science, הוביל פרופ' אלכס לישנסקי מהפקולטה להנדסה כימית ע"ש וולפסון.

קבוצות מחקר רבות ברחבי העולם עוסקות בעשור האחרון בפיתוח רובוטים זעירים - ננומטריים ומיקרומטריים - הנעים בסביבה נוזלית. זאת משום שרובוטים כאלה עשויים לתרום רבות לעולם הרפואה, למשל בהובלת תרופות.



איור 3. צילום מיקרוסקופי של חיידקים ושוטוני השחיה שלהם

מקור ההשראה הראשוני לפיתוח של רובוטים זעירים הוא תנועתם של חיידקים, הנעים באמצעות שוטון סלילי דק (flagellum) (איור 3). סיבובו של השוטון בתוך הנוזל יוצר חיכוך המניע את החיידק. בהשראתו של מנגנון טבעי זה פיתחו חוקרים סלילים זעירים המונעים על ידי שדה מגנטי אחיד מסתובב.

לשימוש בשדה מגנטי מסתובב להנעה של אובייקטים זעירים כמה יתרונות, ובהם עוצמת

השדה הנמוכה הנדרשת לשם כך. מכיוון שייצורם של סלילים זעירים הוא תהליך מורכב, הוצע לאחרונה להשתמש בצברים אקראיים של ננו-חלקיקים מגנטיים בתור "שחיינים" זעירים. צברים אלה נוצרים בתהליך פשוט של התקבצות (אגרגציה) (איור 4 מימין). כעת, במחקר שהתפרסם ב-

Robotics Science, מראים חוקרי הטכניון כי גישה זו אינה מובילה לתוצאות האופטימליות. במסגרת המחקר פיתחו החוקרים תאוריה המאפשרת לחשב מהירות תנועה אופטימלית של שחיינים מגנטיים כתלות בצורה ובמינגוט. באמצעות התאוריה הם כימתו את המהירות המרבית האפשרית של צברים מגנטיים אקראיים וחישבו תצורות אופטימליות של "שחיינים" למנגנון הנעה זה. להפתעתם הם גילו שהסליל הדק שפותח בהשראת הטבע אינו המבנה האופטימלי, וכי הצורה האופטימלית מזכירה קשת עבה עם קצוות מפותלים. כמו כן, הם מצאו שהתצורות שגילו נעות במהירות גבוהה פי כמה ממהירותם של הצברים האקראיים שפותחו לפני כן (איור 4 משמאל). פרופ' אלכס לישנסקי, שהוביל את המחקר, מעריך כי הממצאים יובילו לפיתוחם של מיקרו-רובוטים יעילים יותר. המחקר נתמך על ידי קרן גרמניה-ישראל (GIF), הקרן הישראלית למדע (ISF) ומענק משותף ("קמע") של המשרד לקליטת עלייה והוועדה לתכנון ותקצוב במועצה להשכלה גבוהה.



איור 4. ימין: שחין שנוצר מצבירה אקראית של חלקיקים. שמאל: השחין האופטימלי שמציעים חוקרי הטכניון. בשני המקרים השדה המגנטי (כחול) מסובב את השחין המלאכותי (לבן) וכך גורם לו לנוע קדימה, אולם תנועתו של השחין האופטימלי מהירה הרבה יותר.

## 5. הניצחון הטבעי

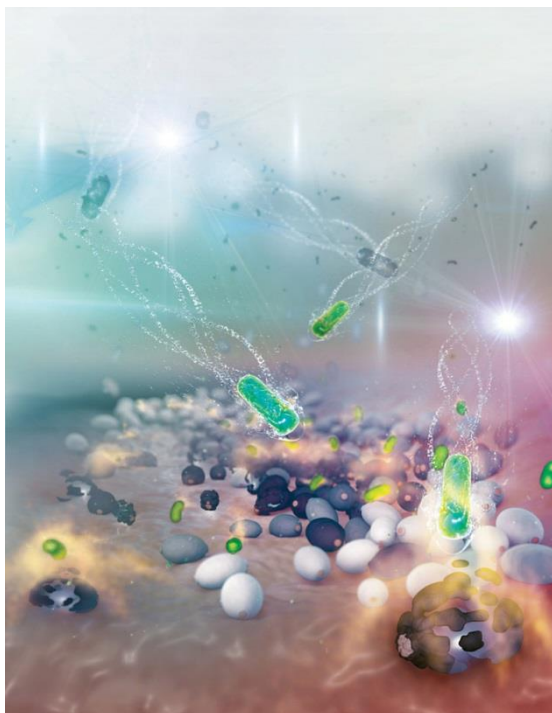
חוקרים מהפקולטה להנדסת ביוטכנולוגיה ומזון בטכניון ריפאו זיהומים פטרייתיים באמצעות חיידק השוכן בקרקע. המחקר שהתפרסם בכתב העת *Advanced Functional Material* נערך בהנחיית פרופ' משנה בעז מזרחי ובהובלת הסטודנטית מעיין לופטון וד"ר איילת אורבך.

זיהומים פטרייתיים נפוצים בקרב בעלי חיים שונים לרבות האדם. אחד המקורות העיקריים לזיהומים אלה הוא הקנדידה, פטריית שמר הנמצאת באופן קבוע בגופנו. פטרייה זו מנצלת שיבושים בתפקוד האורגניזם כדי להתפשט ולפגוע בו, ורוב בני האדם יחוו לפחות פעם אחת בחייהם זיהום פטרייתי במקום כלשהו בגופם - על העור, במערכת העיכול או באיברים האינטימיים.

שכיחות הזיהומים הפטרייתיים נמצאת בעלייה מתמדת בשל הזדקנות האוכלוסייה ויתכן שגם בעקבות ההתחממות הגלובלית. סיבות נוספות הן השימוש בתרופות המדכאות את מערכת החיסון והשימוש הגובר בתרופות אנטיביוטיות, התומכות בקנדידה באופן עקיף - דרך פגיעה במאזן החיידקים בגוף.

התרופות הניתנות כיום בבליעה כנגד זיהומים פטרייתיים מאופיינות ביעילות נמוכה, בשלל תופעות לוואי כגון כאבי ראש ופריחה, ובמקרים מסוימים גם ברעילות מסכנת-חיים בכבד ובכליות. יתר על כן, בשנים האחרונות התגלו זני קנדידה העמידים לתרופות הקיימות.

חוקרי הטכניון בחנו את האפשרות לטפל בקנדידה באמצעות החיידק בצילוס סבטיליס (*Bacillus*



איור 5. היעד הטיפולי הוא הפטרייה, המסומנת בסגול. חיידקי הצילוס (בירוק) מפרישים חומר אנטי-פטרייתי הקוטל את הפטרייה

*subtilis*) (איור 5), המפריש באופן טבעי חומרים המעכבים גדילה של קנדידה. מנגנון זה התפתח בחיידק כחלק מהמאבק שלו בקנדידה על הקרקע, על בית הגידול ועל שורשי הצמחים.

לדברי פרופ' משנה מזרחי, "האתגר הראשון שלנו היה לפתח מערכת הובלה שתאפשר למרוח את החיידקים על הנגע המזוהם בלי לפגוע ביכולתם להתרבות ולהפריש את החומרים הרפואיים באתר המטרה." החוקרים פיתחו ג'ל ייחודי הנמצא במצב נוזלי במקרר ובטמפרטורת החדר, כך שיהיה נוח למריחה, אך הוא מתקשה בתוך שניות לאחר מריחתו על העור. בנוסף לחומרים הפולימריים האחראיים להתקשות, הג'ל מכיל גם חומרי מזון המבטיחים שהחיידק ימשיך לחיות על העור וכך יוכל לטפל בזיהום. החוקרים מרחו את הנוסחה החדשנית על רקמת עור לאחר שסימנו אותה בחומר

פלורוסנטי, והראו כי הפורמולה חודרת למעמקי העור אך לא לכלי הדם שמתחת להם. בהמשך נבדקה יעילות הפורמולה על עכברים הסובלים מזיהום פטרייתי. בקבוצות הביקורת, זו שקיבלה

משחה ללא חיידיקים וזו שלא טופלה כלל, המשיך הזיהום להתפתח. בקבוצה שטופלה בג'ל החיידקי, לעומת זאת, נרפא העור במהירות. יתר על כן, בדיקת הטיפול החדש לעומת טיפול במשחה הנפוצה קטוקונזול הדגימה לא רק את עדיפותו של הג'ל אלא גם את העובדה שהוא נעדר כל תופעות לוואי.

החוקרים מציינים כי לבד מפיתוח הג'ל הספציפי פותח מודל חדש לטיפול תרופתי: מפעל זעיר, שלאחר החדרתו ליעד הרצוי בגוף מתחילים החיידקים שבתוכו לייצר את החומר הפעיל. זאת בניגוד למודל התרופתי הרגיל שבו נעה התרופה בתוך הגוף, וחלקים ממנה עלולים להתפרק בדרך. החוקרים מקווים כי בעתיד אפשר יהיה להשתמש במודל החדשני לטיפול במגוון מחלות ובהן פסוריאזיס, אקנה, דלקות שונות ואף סרטן.



## 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 1.5 בין השורות.

את המאמר יש לשלוח אל ד"ר אמונה אבו - יונס עלי עורכת כתב העת בדוא"ל: [moretech@ed.technion.ac.il](mailto:moretech@ed.technion.ac.il)

במכתב המלווה יש לרשום את מקום העבודה ותפקידו/ה של השולח/ת ולהוסיף פרטי התקשרות. 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
- תחרויות, כנסים וסמינרים בארץ ובעולם
- סקירת ספרים ואינטרנט

## משוב

לקוראי וקוראות כתב העת מור-טק שלום,

למילוי טופס משוב אלקטרוני סרקו את הברקוד, להלן:



תודה על שיתוף הפעולה,  
חברי המערכת

