

דבר העורכים

עורכים
אהרון שחר
ד"ר שלום עזריאל

חברי המערכת
פרופ' אורית חזן
אהרון שחר
ד"ר שלום עזריאל

מזכירת המערכת
סיון ברקוביץ

כתובת המערכת:
מרכז מורים ארצי
למקצועות
הטכנולוגיים
מדעיים-מורטק,
המחלקה להוראת
הטכנולוגיה
והמדעים קרית
הטכניון
חיפה 32000
moretech@technion.ac.il

הגיליון השביעי של מורטק, כתב העת של מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים, יוצא לאור בתום שנת הלימודים תשע"ב, שכללה פעילויות רבות של מרכז המורים שחלקן מתוארות בו. בתחילת השנה מונה מר אהרון שחר למנהל המרכז, ובמקביל הוקמה ועדת היגוי חדשה ומורחבת למרכז המורים. סיכום הנושאים בהם דנה הועדה בפגישתה ראשונה ב- 1.12.2012 במחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים בטכניון, מובאים בגיליון.

בגיליון זה ניתן להבחין בקו הכולל (ההוליסטי) המנחה את מורטק - מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים-מדעיים. קו זה בא לידי ביטוי בהיבט החברתי המוצג במאמרם של ד"ר מירי ימיני ואלעד וליקסון מאוניברסיטת ת"א, הבוחנים את מוכנותה של ישראל לעולם הגלובאלי בהקשר לאינטרנציונליזציה (בינאום) וסביבה טכנולוגית של המאה ה-21 במערכת החינוך.

קו זה ממשיך במחקר טכנולוגי-מדעי חדשני-עתידי המוצג במאמרו של פרופ' חוסס חאיק מהטכניון, המתאר אף אלקטרוני, המדגים יישום של ננו טכנולוגיה בחיי היום של האנושות בעתיד בכלל ובתחום הרפואה בפרט.

בעשייה המתקיימת בבתי הספר, משתפת את הקוראים קולט מזמר-טוב, רכזת מגמת אלקטרוניקה, בניסיון מוצלח של שיתוף פעולה בין חברה תעשייתית (EIM) לבין בית הספר. במאמר קולט מפרטת את הערכים הנוספים שרכשו המורים, התלמידים ובית הספר.

בהמשך, ניתן היבט לחינוך הטכנולוגי, שמעבר ללמידה עיונית, היא כוללת גם למידה התנסותית המעשירה את עולם הלומדים בסוגי ידע ייחודיים. אהרון שחר מפרט במאמרו דרכי הערכה חלופיות אפשריות ורלוונטיות בתהליכי למידה סביב פרויקטים מעשיים.

עוד בגיליון, מוצג הרציונל של פיתוח פרויקטים במגמה המדעית טכנולוגית, וכן מובאים רשמים מהכנסים הארציים של מורי מכונות ומורי אלקטרוניקה שהתקיימו במהלך שנת הלימודים תשע"ב.

לבסוף, אנו פונים לכל המורים והמורות לשתף את הקהילה בעשייה הברוכה שלכם בשדה ולשלוח מאמרים לפרסום בגיליון הבא. קול קורא מופיע בסוף הגיליון.

קריאה מהנה ומועילה.

אהרון שחר ד"ר שלום עזריאל

תוכן העניינים

עמוד

- 5 מושלחנו של מנהל מרכז המורים מורטק
- 6 מושלחן ועדת היגוי של מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים – מורטק, לשנה"ל תשע"ב
- 8 אינטרנציונליזציה (בינאום) וסביבה טכנולוגית של המאה ה-21 במערכת החינוך. האם מדינת ישראל מוכנה לעולם הגלובאלי / מירי ימיני ואלעד וליקסון
- 12 אף אלקטרוני מבוסס ננו-חלקיקים לאבחון מחלות דרך דגימות נשימה / חוסאם חאיק
- 20 כשהחינוך והתעשייה נפגשים: שיתוף פעולה בין בית הספר הרב תחומי פתח תקוה ב' ובין חברת EIM / קולט מזמר טוב
- 28 תהליכי למידה ודרכי הערכה סביב פרויקט טכנולוגי / אהרון שחר
- 39 הרציונל והכללים של פיתוח פרויקטים במקצוע טכנולוגיה מוכללת במגמה המדעית טכנולוגית / דינוביץ ראובן, ששון ראובן
- 45 רשמים מהכנס הארצי של מורי מכונות / עודד רייכספלד
- 47 רשמים מימי העיון למורי מגמת הנדסת אלקטרוניקה וחשמל שנערכו במהלך שנה"ל תשע"ב / שלום עזריאל
- 49 אודות "מורטק" – מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים

משולחנו של מנהל מרכז המורים מורטק

בתחילת שנה"ל תשע"ב קיבלתי על עצמי את הובלת "מורטק" - מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים. "הטכניון", כמוסד אקדמי בין המובילים בעולם, פרש את חסותו האקדמית על מרכז המורים ובשיתוף המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים וציבור המורים אנו מוציאים מהכוח אל הפועל את הכוחות הטמונים בחינוך הטכנולוגי.

החינוך הטכנולוגי מדעי בישראל עומד לנגד עיניי כפלטפורמה מעולה לטיפול חשיבה מסדר גבוה ויכולות כגון: לימוד עצמי, פתרון בעיות, וחשיבה רפלקטיבית. אלה נתפסות בעיני כחלק ממטרות החינוך של בוגרים ובוגרות מערכת החינוך שאמורים להתמודד עם שינויים מהירים בתחומי המדע, הכלכלה, הטכנולוגיה והחברה, המונעים ע"י תגליות מדעיות, פיתוחים טכנולוגיים, בד בבד עם התפתחות מהירה של ידע.

על מנת לקדם את מטרת החינוך, **מרכז מורים ארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים - מורטק**:

- ✓ מאמין בטיפול המורים וההוראה במקצועות הטכנולוגיים מדעיים;
- ✓ שואף לחיזוק שייכות המורים לקהילה האקדמית של הוראת הטכנולוגיה והמדעים בארץ ובעולם;
- ✓ מטפח את השאיפה למצוינות ולמיצוי היכולות והמיומנויות של קהילת המורים למקצועות הטכנולוגיים מדעיים;
- ✓ מקדם חשיבה עצמאית, יצירתיות וסקרנות אינטלקטואלית;
- ✓ שואף להיות מוביל בפיתוח תכנים פדגוגיים תוכניים בתחום הטכנולוגי מדעי תוך התאמתם לצרכי מערכת החינוך;
- ✓ דוגל בטיפול מנהיגות, בלקיחת אחריות במעורבות, ובמוכנות לתרום לקהילת המורים בחינוך הטכנולוגי מדעי.

בברכת עשייה מהנה ופורייה,

שלכם,

אהרון שחר – מנהל מרכז המורים

משולחן ועדת היגוי של מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים – מורטק, לשנה"ל תשע"ב

פרופ' אביב רוזן, הפקולטה להנדסת
אווירונטיקה וחלל, הטכניון
פרופ' אדם שוורץ, דיקן הפקולטה להנדסת
חשמל, הטכניון
מר אהרון שחר, מנהל מרכז מורים ארצי
למקצועות הטכנולוגיים
מר יעקב שינבויס, מפמ"ר הנדסת
אלקטרוניקה ומחשבים ומגמת מערכות
בקרה ואנרגיה, משה"ח

ועדת ההיגוי התכנסה בה' כסלו תשע"ב
01.12.2011 ונידונו בה מספר נקודות
עיקריות:

- דרכים להתמודדות עם תדמית
החנינוך הטכנולוגי;
- השלכות הורדת הבונוסים ממבחני
הבגרות במקצועות הטכנולוגיים
מדעיים;
- קריאה לשיתוף פעולה בין משרד
החנינוך לאקדמיה ומתן רעיונות
לשיתוף פעולה;
- דרכים למעבר ללמידה סביב
פרויקטים טכנולוגיים.

בהמשך, חברי ועדת ההיגוי ערכו סיור
לימודי באורט רוגוזין מגדל העמק על מנת
ללמוד מהעשייה המתבצעת בשדה. מנהל
בית הספר ומרכזי המגמות הטכנולוגיות
הציגו בפני חברי ועדת ההיגוי נתונים אודות
מבנה הלימודים בבית הספר. יעקב שינבויס,
מפמ"ר מגמת אלקטרוניקה, סקר את נתוני
מבחני הבגרות במקצועות הטכנולוגיים. כמו
כן, המפמ"ר הציג קשר בין הישגי תלמידי
החנינוך הטכנולוגי במגמת אלקטרוניקה לבין
ציוניהם הגבוהים (מעל לממוצע הארצי)
במבחני הבגרות בפיזיקה 5 יח"ל.

מרכז המורים הארצי למקצועות
הטכנולוגיים מדעיים נהנה מועדת
היגוי שחברים בה מיטב האנשים
והחוקרים הבכירים והמובילים במדינת
ישראל בתחום החינוך הטכנולוגי, בתחום
המדעי טכנולוגי ובתחום ההוראה.
חברי ועדת ההיגוי לפי סדר א' ב' הם:
גב' אילת אברהם, מפמ"רית מגמת
ביוטכנולוגיה, משה"ח
ד"ר אלי איזנברג, סמנכ"ל, ראש המנהל
למו"פ ולהכשרה אורט ישראל
פרופ' משה ברק, ראש המחלקה להוראת
המדעים והטכנולוגיה, אוניברסיטת בן גוריון
בנגב
ד"ר ירון דופלט, מפמ"ר מגמת מכונות,
משה"ח
פרופ' איגור ורנר, המחלקה להוראת
הטכנולוגיה והמדעים, הטכניון
ד"ר רעיה ורפולומייב, רפרנטית מורטק,
מינהלת מ.ל.מ.
מר ישראל זילברשטיין, מנהל בית הספר
לטכנולוגיה, או"פ
פרופ' אורית חזן, ראש המחלקה להוראת
הטכנולוגיה והמדעים, הטכניון
מר חלאד חינג'אזי, מפקח כולל במגזר
הערבי צפון, משה"ח
פרופ' חוסאם חעיק, הפקולטה להנדסה
כימית, הטכניון
מר גרשון כהן, מנהל תחום טכנולוגיה
ומפמ"ר מגמת מדעית הנדסית, משה"ח
גב' אורלי לוי, מורה למקצוע האלקטרוניקה,
אורט חולון
מר מוטי מאיר, מורה למקצועות
הרובוטיקה, אורט חרמץ, ג.רם ירושלים
פרופ' ענת פישר, הפקולטה להנדסת מכונות,
טכניון



אבי אבירם, מנהל בית הספר אורט רוגוזין מגדל העמק, סוקר את מבנה הלימודים בבית הספר בפני חברי ועדת ההיגוי של מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים (צילום באדיבות

הנהלת בית הספר)

- בהמשך חברי צוות הועדה ביקרו במעבדות המגמה ושוחחו עם תלמידות ותלמידי כיתה יב' הלומדים במגמות הטכנולוגיות בבית הספר.
- לסיכום, חברי הועדה הסכימו כי על מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים להתמקד בפעילויות הבאות:
 - טיפוח מורים מובילים אשר יובילו שינויים בבית ספרם בתחום החינוך הטכנולוגי;
 - יצירת מנגנון דו כיווני בין האקדמיה למורים בשדה (למשל, ביקורים הדדיים);
- העברת תכנים ייחודיים למורים בחינוך הטכנולוגי;
- יצירת מאגר מומחים בתחום ההנדסה והחינוך שיעצו למורים;
- עדכון קהילת המורים הטכנולוגיים מדעיים בשיטות הוראה עדכניות;
- הבאת ידע וחדשנות הקיימים בטכניון למורים בביה"ס;
- עדכון אתר מרכז המורים ביוזמות ותכנים שפותחו ע"י מורים מובילים;
- תמיכה בהעלאת תדמית המורים המובילים במקצועות טכנולוגיים עתירי מדע.

אינטרנציונליזציה (בינאום) וסביבה טכנולוגית של המאה ה-21 במערכת החינוך. האם מדינת ישראל מוכנה לעולם הגלובאלי?

ד"ר מירי ימיני. החוג למדיניות ומנהל החינוך, ביה"ס לחינוך, אוניברסיטת תל אביב.
אלעד וליקסון סטודנט לתואר שני. החוג למדיניות ומנהל החינוך, ביה"ס לחינוך, אוניברסיטת תל אביב.

בינלאומיים המאפשרים השגת תועלת בגרות בינלאומית, לימודים בשפה האנגלית, הכנסת תכני לימוד בינלאומיים בבתי ספר (הקשורים לרוב בזכויות אדם), מודעות לאיכות הסביבה, תהליכי הכנסת הטכנולוגיה ככלי להגברת הבינלאומיות דרך הוראה מרחוק, תכניות שיתוף ולמידה בינלאומיות וכן הוראת שפות ותרבויות זרות.

חרף היותו של תהליך האינטרנציונליזציה בין הנושאים המדוברים ביותר בשיח האירופי, הנושא כמעט ואינו מוכר בישראל, במיוחד מחוץ לכותלי האוניברסיטאות והמכללות. מצבה המיוחד של מדינת ישראל מבחינה פוליטית, יחד עם ריחוק פיזי משותפים בינלאומיים אפשריים, עלויות גבוהות וחוסר מודעות ליתרונות התהליך, לעיצובו וחינוכו של התלמיד, יצרו מצב בו תחום זה איננו מפותח כלל במערכת החינוך ואף איננו זוכה להתייחסות מצד קובעי המדיניות, המורים והמנהלים במערכת. גם העובדה שתהליך האינטרנציונליזציה התחזק בעשור האחרון כתוצאה מתהליכים אירופיים והעובדה שרוב ההשפעה על מערכת החינוך מגיעה מארצות הברית, אינן מסייעות לתהליך.

הקידום האירופי של נושא האינטרנציונליזציה במערכת החינוך התחיל מתהליך בולוניה (Bologna Declaration,) (1999). תהליך בולוניה, הנו תהליך כלל אירופי שהחל בשנת 1999 בכינוס שרי

רות דובר על התקדמותה של מערכת החינוך בישראל לקראת העשור השני של המאה ה-21 ולשינויים הנדרשים באקלים הבית ספרי, על מנת לעמוד במלאכת החינוך המאתגרת. רפורמות ותכניות רבות יצאו אל הפועל ואף רבות נוספות מתוכננות בעתיד על מנת לחבר את תלמידי ישראל לעולם הגלובאלי והדינמי שמסביב. אחד השינויים המהותיים ביותר בסביבה הלימודית בעשורים האחרונים הוא כניסת הטכנולוגיה למערכת החינוך. שילוב הטכנולוגיה במערכת החינוך מורכב בעיקרו משימוש בטכנולוגיה ככלי עזר להוראה (למידה ברשת, שיתופיות, המחשה ועוד) ומלימודי טכנולוגיה (הכוללים לימודי התמחות בטכנולוגיה עילית כמו רובוטיקה, ננוטכנולוגיה ועוד). שילוב הטכנולוגיה ובעיקר נפיצות האינטרנט, אומנם שינו ללא היכר את ההוראה בכיתה כפי שהכרנו אותה, אך הלימודים בבתי הספר נותרו לוקאליים במידה רבה, למרות תהליכי הגלובליזציה בעולם.

בעוד שגלובליזציה מוגדרת כמעבר חופשי של סחורות, אנשים, טכנולוגיה וכספים בין גבולות מדיניים, אינטרנציונליזציה מתייחסת לתהליך של הכנסת היבט בינלאומי לתוך מטרות ופעולות במערכת החינוך (Knight, 2006). מטרות ופעולות אלו כוללות תנועה של סגל ההוראה והתלמידים, דבר הנפוץ בעיקר במערכת ההשכלה הגבוהה, התרחבות של בתי ספר

להשתמש בתהליכי אינטרנציונליזציה בית ספריים כגון לימודי שפות, חילופי תלמידים, תחרויות בינלאומיות וכו', ככלי מבדיל המעניק ערך שיווקי מוסף לבית הספר (Weenink, 2009).

בנוסף, אינטרנציונליזציה במבט רחב יותר, כוללת ערכים חינוכיים של רב תרבותיות, סבלנות לשונה ופיתוח תכונות אישיות רצויות לתלמידים. מנגד, בתי ספר הם ארגונים שמרניים מאוד, מתקשים להכיל וליישם שינויים (Dolby, & Rahman, 2008).

מערכות החינוך בעולם וגם בישראל נהנות ממידת אוטונומיה נמוכה יחסית, שכן תכני הלימוד ונושאים ארגוניים רבים נקבעים על ידי משרד החינוך או הרשויות המקומיות כך שתהליכי האינטרנציונליזציה אינם יכולים תמיד להתחיל מלמטה בדרגת בית הספר אלא מחויבים לעבור דרך מנגנון בקרה ארצי ומקומי. כך, בתי הספר נמצאים בתווך שבין תהליכים גלובאליים מתגברים, המתווכים לרוב על ידי טכנולוגיה ונגישות לאינטרנט, לבין מערכת החינוך ומנגנוני הבקרה בה, הדוגלים לעיתים במדיניות שמרנית.

טכנולוגיה, ובעיקר טכנולוגיות המחשוב והמידע, יכולים להוות כלי מכריע לקידום תהליכי אינטרנציונליזציה בעולם הבית ספרי. מערכות וכלים כמו ויקיפדיה, עולמות וירטואליים, לימודים בעזרת וידאו, בלוגים, רשתות חברתיות, אתרי אינטרנט של בתי ספר ועוד, משנים את הדרך בה לומדים ומרסקים תדמיות ישנות לגבי חינוך ובית הספר. כיום, יותר מבעבר, חשופים התלמידים 'הדיגיטליים' לעולמות ומחוזות רחוקים יותר מכל תלמיד בעבר. בעזרתם של אתרים וירטואליים, יכולים להיווצר

החינוך של מדינות אירופה המרכזיות, במטרה להוביל לשיתוף פעולה והאחדה בהשכלה הגבוהה במדינות האיחוד האירופי וליצירת שטח השכלה אירופי רחב עם מטרות, יעדים וסטנדרטים משותפים. במהלך השנים הצטרפו לתהליך גם מדינות שאינן שייכות לאיחוד האירופי וכיום, בסוף שנת 2011, חתומות על האמנה כ-50 מדינות. התהליך מתמקד במספר נושאים עם דגש על תנועתיות בין-מוסדית ובינלאומית של סטודנטים וסגל, בקרת איכות משותפת, הרחבת הזדמנויות להשכלה גבוהה, תרגום תעודות וקורסים לשפות אירופאיות נפוצות, אחידות בתארים ובמעקב אחר תוצרי הלימוד שהושגו על ידי הסטודנטים. אומנם, התהליך כולו מכוון להשכלה הגבוהה, אך מהר מאוד גם בתי ספר תיכוניים ויסודיים ברחבי העולם הצטרפו לתהליך בתחומם והתמחותם (ימיני וכן ארצי, 2011).

הסיבות להצטרפותה של מערכת החינוך כולה לתהליך האינטרנציונליזציה הן דו כיווניות. מחד, הגברת הנטייה לאינטרנציונליזציה באוניברסיטאות ומכללות משפיעה על בתי הספר מאחר ובתי הספר מנסים להכין את בוגריהם למערכת ההשכלה הגבוהה, ויתר על כן, בהתאם ל"תיאוריית המערכות", קיים רצון של ארגונים שונים להידמות אחד לשני ולחקות אסטרטגיות בהתאם לארגונים הנחשבים כמוצלחים יותר. מהצד השני, התלמידים המגיעים למערכת החינוך הם תלמידים "דיגיטליים", החיים בעולם הגלובאלי ושולטים בו, ולכן בתי ספר מושפעים בצורך ללמד בהתאם לסביבה הטבעית של התלמיד וכן להגיב על תופעות גלובאליות ובינלאומיות באמצעות הגברת הבינלאומיות. בנוסף, בעידן התחרות הגוברת בין בתי הספר, מנהלים עשויים

מודעות מנהלי בתי הספר והמורים המובילים לחשיבות הנושא ולדרכים השונות בהן ניתן ליישם ולקדם את תהליך האינטרנציונליזציה בחינוך.

אך עוד לפני שנקדים את המאוחר, בכדי שייווצרו קשרים שכאלה, על מנהלי בתי הספר לפתח ולטפח פעילויות בינלאומיות בבית ספרם כגון: טיפוח התחום של לימוד שפות באמצעות הגדלת שעות לימוד שפות אלה במערכת השעות, העלאת הנגישות לאינטרנט בבית הספר בכלל ועידוד נגישות למידע בינלאומי בפרט, פיתוח תחום חילופי המשלחות לחו"ל, הכנסה לתוכנית הלימודים עניינים גלובליים, הקמת מיזמים בינלאומיים שונים, העשרת את הידע של התלמידים במידע על מדינות אחרות בעולם ועוד.

נראה שהשלב הראשון ליישום תהליכים בינלאומיים במערכת החינוך הישראלית הוא שלב המודעות. אינטרנציונליזציה בבתי הספר תהפוך לתהליך משמעותי בעשור הקרוב ורצוי לפיכך לבחון את מגוון הפעילויות והתהליכים האפשריים בתחום, כמו גם את התמיכה הממשלתית והרגולציה האפשרית לנושא. בדרך, יש להתגבר על הפחד בפני שינויים והררי הביורוקרטיה שהינם נחלתם של כל השינויים בסקטור הציבורי במדינת ישראל.

יש לשאוף לכך ששנת 2012 תהווה תחילתה של ידידות מופלאה בין ישראל והעמים. ידידות אקדמית לימודית שעשויה תהיה להוביל גם לידידות משמעותית יותר בשדה המדיני-פוליטי המתגבר כל כך.

במהירות קשרים בין תלמידים בארץ ותלמידים מעבר לים להם נושא מעניין משותף. אותו אתר אינטרנטי אליו יחשפו התלמידים בארץ ובחו"ל, יאפשר בסיס מצוין להתקשרות שלא הייתה כמותה בעבר. לאחר שנכנס התלמיד הישראלי ועמיתו מחו"ל לאתר מסוים, יוכלו שניהם לשתף פעולה האחד עם השני, לשאול שאלות, להיוועץ ואף ליצור קהילה וירטואלית חדשה בנושא המשותף. פעילות בעלת זיקה בינלאומית נוספת יכולה להיות למשל תפעולו של אתר בית הספר בו מצוינים: חזון בית הספר, נושאי תפקידים, שמות התלמידים והדוא"ל שלהם, פעילות בית הספר בארץ, ואם ישנה - גם בחו"ל, ועוד. לאתר שכזה יוכלו תלמידים מחו"ל להיכנס ולהתרשם מבית הספר וגם התלמיד הישראלי יוכל לעשות כן באתר עמיתו מחו"ל. דבר זה, יוכל לפתוח בפני התלמיד הישראלי אופקים חדשים ולקרבו לחברו שמעבר לים. פעילויות מאורגנות יכולות לכלול השתתפות באירועים בינלאומיים ואף חילופי תלמידים שחלקם יכול להתבסס על "חילופים וירטואליים" בהם התלמידים משתתפים בשיעורים בבתי ספר אחרים במקומות מגוונים בעולם. הסכמי שיתוף פעולה כאלו יכולים להתרחב אל עבר קורסי העשרה ואף לימודים מתקדמים ומרתקים.

כיום, קיימים מספר חסמים מבניים ליישום תהליכי אינטרנציונליזציה בבתי הספר, כמו למשל: הכרה והבנת הנושא מצד הגורמים המפקחים במשרד החינוך וברשויות המקומיות, מיעוט פעילות חוץ קוריקולריות הכוללות שימוש במחשבים, כישורי שפה לא מספקים (אנגלית בעיקר) של התלמידים בכיתות הנמוכות, נגישות מוגבלת לאינטרנט בבתי הספר בעיקר באלו הנמצאים בפריפריה הגיאוגרפית והחברתית, ובעיקר

מקורות

ימיני מ., בן ארצי י. (2011). יישום תהליך בולוניה במערכת ההשכלה הגבוהה בישראל. דפים.

Bologna Declaration. (1999) Joint Declaration of the European Ministers of Education.

Dolby N. & Rahman A. (2008). Research in international education. *Review of Educational research*, 73 (3): 676-726.

Knight j. (2006). Cross-border education: Conceptual confusion and data deficits. *Perspectives in Education*, 24 (4):15-27.

Weenink, D. (2009). Creating a niche in the education market: the rise of internationalized secondary education in the Netherlands. *Journal of Education Policy* 24(4): 495-511.

אף אלקטרוני מבוסס ננו-חלקיקים לאבחון

מחלות דרך דגימות נשימה

פרופ' חוסאם חאיק

הפקולטה להנדסה כימית ומכון ראסל ברי לננוטכנולוגיה, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל, חיפה

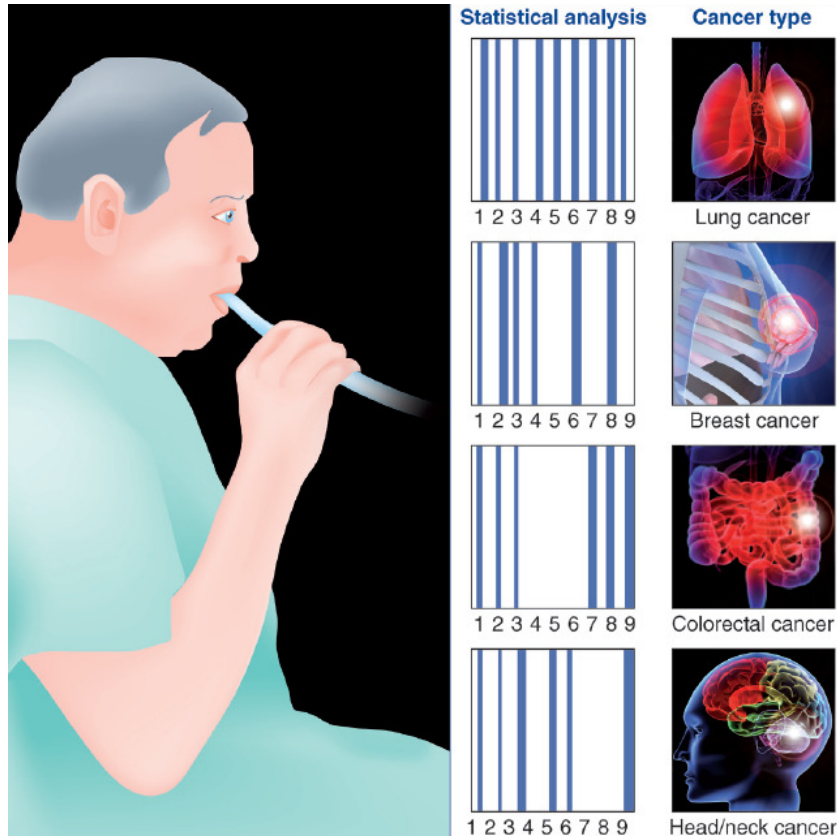
לרמת ריכוזים של (ppm) part per million בזמן שהביו-סמנים של המחלה נמצאים בריכוזים הקטנים מסף גילוי זה פי-10000-100 פעם. בנוסף, שימוש בטכניקות אלה כרוך בריכוז מקדים של הדוגמאות, אשר דורש איסוף כמויות אדירות מהחולה בכדי לבצע בדיקה בודדת אחת.

במעבדות המחקר שלנו בטכניון מפותחים התקנים חדשניים, פשוטים וזולים יחסית לגילוי ביו-סמנים סרטניים נדיפים בריכוזים נמוכים, שעשויים לאבחן את המחלה ללא צורך בריכוז מקדים של הדוגמאות. ההתקנים המפותחים עשויים לאבחן מחלות רבות באמצעות דגימות נשימה (למשל, על-ידי נשיפה אל תוך ההתקן באמצעות צינור דק המחובר בקצהו) כאשר התוצאה תופיע באופן מיידי, לדוגמא, על צג המכשיר (ראו איור מס' 1 להמחשה). גילוי ביו-סמנים סרטניים באמצעות דגימות נשימה מציע מספר יתרונות על פני גילוי אותם חומרים בדם אן בשתן, כגון: א) דגימות נשימה אינן פולשניות וקלות להשגה; ב) אוויר ננשף מכיל תערובות פחות מורכבות מאשר אלו הנמצאות בדם או שתן; ו- ג) בדיקות נשימה מאפשרות ניטור ישיר ובזמן אמת. ההתקנים המפותחים במעבדות המחקר בטכניון נקראים "מערכות הרחה מלאכותית", או, בשפה טכנית, "אפים אלקטרוניים", הואיל והם מדמים את אופן פעולת מערכת ההרחה אצל בעלי החיים.

במרפאתו של רופא המשפחה בעתיד הלא רחוק עשוי להימצא מתקן בגודל של מחשב נישא. לאחר מספר נשיפות בצינורית המשתרבת מן המכשיר ומספר דקות המתנה יוכל הרופא לקבל דוח על בריאות הנבדק המבוסס על ניתוח נשימתו. הדוח יוכל להתריע על כך שהנבדק לקה במחלה מסוג מסוים ואפילו לקבוע באיזה שלב נמצאת המחלה, וכל זאת הרבה לפני שהופיעו תסמינים כלשהם שלה. אבחון מוקדם של מחלות יעלה בשיעור ניכר את האפשרויות לטיפול ואת סיכויי ההחלמה. בעתיד הרחוק, הטכנולוגיה עשויה להשתלב כחלק מטלפון סלולרי אשר ימליץ לנו לסור לבדיקה רפואית.

בסיס מדעי לבדיקות נשימה:

מחקרים עם ספקטרוסקופית מסה, מראים שתאים חולים מייצרים תבניות של תרכובות אורגניות נדיפות המושפעות מגיל וסוג התרבית ויכולות לשמש לביו-סמנים של המחלה. תבניות אלו עשויות להימצא בדם, בשתן או באוויר הננשף. עם זאת, שימוש בטכניקות אלה לאנליזה של טביעות האצבע של החומרים הנדיפים לוקה במספר חסרונות מהותיים, במיוחד עקב הצורך בציוד יקר, הצורך ברמת מומחיות גבוהה להפעלת מכשור מסוג זה ומשך הזמן הדרוש להשגת תוצאות, שעשוי לנוע בין מספר ימים למספר שבועות. לא פחות חשוב מכך - רמת הרגישות של טכניקות אלה מוגבלת



איור מס' 1: תיאור סכימטי לתהליך אבחון וסיווג סרטן, כדוגמא מייצגת, באמצעות אף אלקטרוני.

אפנו תערובת המכילה מאות של חומרים שונים. האף אינו מבדיל בין כל החומרים אלא מעביר למוח, באמצעות מערכת העצבים, את תמונת הספיחה של מרכיבי התערובת אל הקולטנים השונים. המוח, המתמחה בזיהוי תבניות, מזהה את התבנית, מקשר אותה לזיכרון וקובע את סוג תבנית הריח.

האף האלקטרוני פועל באופן דומה: כל מטרה (או מרכיב) בתערובת רב-מרכיבית יוצרת טביעת-אצבע ברורה ממערך של חיישנים. דבר זה, מאפשר העלאת דרגת זיהוי המרכיבים אליהם המערך הנתון רגיש ובמקרים מסוימים מאפשר לאבחן מרכיבים נפרדים מתוך סביבה

כיצד פועל אף אלקטרוני?

האף האלקטרוני מקבל את השראתו ממערכת ההרחה האנושית או הכלבית. קיים הבדל ניכר בין קולטני מערכת העצבים או מערכת החיסון לבין קולטני האף. הראשונים נקשרים למולקולות מסוימות במנגנון של "מפתח ומנעול" ולכן הם מסוגלים לזהות חומרים מסוימים ברמת ספציפיות גבוהה. קולטני האף, לעומת זאת, סופחים אליהם חומרים בספיחה פיזיקלית-מכאנית לא ספציפית. אבל מכיוון שבאף קיימים קולטנים רבים ומגוונים, מפת הספיחה אינה אחידה. כשאנו מריחים דבר מה, למשל את הניחוח העולה מבושם, מגיעה אל

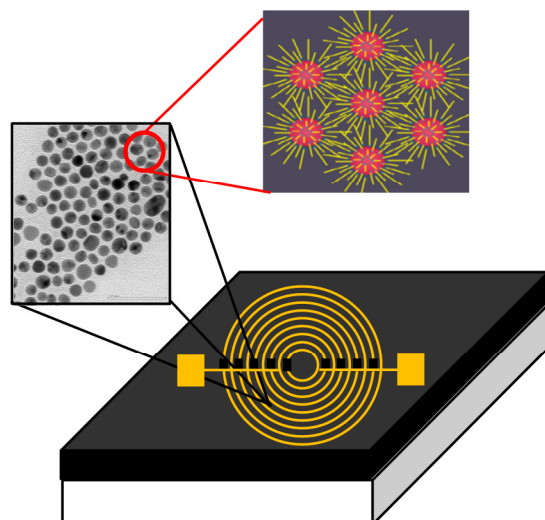
ביוכימית רב-מרכיבית. פלט הסיגנלים מכל החיישנים במערך נקלט בסיום תהליך החשיפה (לתערובת החומרים הרב-מרכיבית) בצורה סימולטנית האותות מועברים ליחידת חישוב מתקדמת, המבוססת על אלגוריתמים של רשתות נוירונים שמתמחות בזיהוי תבניות. אם התבנית מתאימה לסוג מסוים של מחלה, שהשבב כבר "למד" להכיר בתכנות מוקדם, הוא מציג את האבחון. בצורה כזו, יחידת זיהוי התבניות בתורה נותנת מידע על זהות, תכונות וריכוז החומרים אשר אליהם חושפים את מערך החיישנים.

מערכות אף אלקטרוני מבוססות ננו-חומרים

בעידן המודרני, ניתן לבנות מערכות אף אלקטרוני ממערך של חיישנים הזמינים בטכנולוגיה הנוכחית, כגון חיישנים אופטיים, חיישנים מבוססי אינפרא-אדום, חיישני תופעת שדה, חיישני תומכה מיכניים וכו' אבל, בדרך כלל, רוב החיישנים הנ"ל מוגבלים לגילוי חומרים ברמת ריכוזים עד ppm ו/או עובדים בתנאי מעבדה בלבד (לדוגמא: וואקום גבוה ו/או טמפי' קריאוגנית). אף על פי שמתמרים אלו מספיקים לגילוי רגיש של חומרים במגוון רחב של יישומים, חומרים בתנאי סביבה (או חדר) ברמת ריכוז של ppb, כמו אלה הנמצאים בנשימת חולי הסרטן, עדיין מהווים אתגר מדעי וטכנולוגי. בהקשר זה, אנו מפתחים "דור חדש" של חיישנים כימיים ובאופן טבעי, אפים אלקטרוניים, אשר עשויים להיות יותר רגישים, יותר נשלטים בהרכב, ומסוגלים להבחין בשינויים מזעריים בריכוזים של תערובות חומרים רב-מרכיביים. החיישנים המפותחים במעבדות המחקר שלנו הם אומנם בגדלים

ננומטריים (ננומטר הוא יחידת אורך השווה למיליארדרית המטר ובערך פי 100 אלף פחות מקוטר שיערה), אך בזכות גודלם הזעיר ותכונותיהם החשמליות, הפיסיקליות והכימיות המיוחדות, החיישנים רגישים ביותר ומסוגלים להריח את השינויים בהרכב החומרים בתערובת רב-מרכיבית בתבניות ריכוזים שונות, ללא צורך בריכוז מקדים של החומרים.

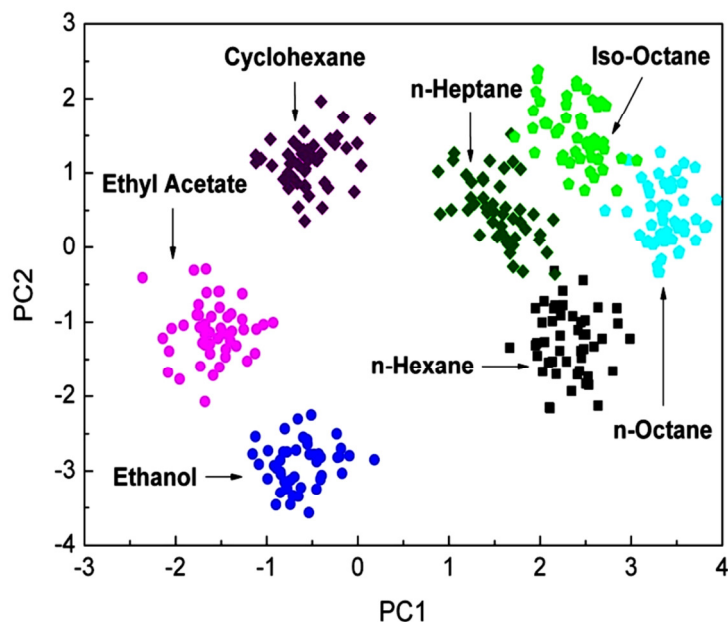
דוגמא טיפוסית לאף אלקטרוני רגיש המפותח במעבדות המחקר שלנו מבוססת על ננו-חלקיקי זהב העטופים בחד-שכבות מולקולריות אורגניות (ראו איור 2). בחיישנים מסוג זה, השכבה האורגנית מהווה תווך לספיחת החומרים מפאזה גזית או נוזלית ואילו חלקיקי הזהב משמשים להעברת אינטראקציות הספיחה לסיגנלים חשמליים הניתנים למדידה. בשל גודלם הזעיר, ננו-חלקיקים אלה מסוגלים לספוח כמויות יותר גדולות (פי 10,000 עד 100,000 פעם) של חומרים ליחידת שטח (או משקל), בהשוואה לחומרים בעלי מימדים מיקרו- או מאקרו-מטריים. בנוסף, גודלם הזעיר של הננו-חלקיקים מקנה להם תכונות חשמליות ואופטיות משופרות, לפחות פי 20 מהטכנולוגיה המתקדמת ביותר המיושמת בעידן הנוכחי. יתרונות נוספים של ננו-חלקיקים אלו כוללים, בין היתר, את האפשרות לשלוט על גודל חלקיקי הזהב ותכונות השכבה המולקולארית האורגנית (כגון כושר ספיחה, עובי שכבה, מוליכות חשמלית, וכו') בצורה יחסית פשוטה והאפשרות לשלוט על המרחק בין חלקיקי מתכת סמוכים בצורה סיסטמטית ומדייקת, על רזולוציה של כ-1 אנגסטרום, דבר אשר כשלעצמו משפיע על רגישות החיישנים.



איור מס' 2: סכמה של חיישנים מבוססי ננו-חלקיקים עטופי מולקולות אורגניות ובבואת מיקרוסקופית אלקטרון החודרת לננו-חלקיקי מתכת עטופי חד-שכבות מולקולריות של מולקולות אורגניות. הנקודות השחורות בבבואה הם ננו-חלקיקי הזהב המתכתיים ואילו התווך הלבן בין חלקיק זהב סמוכים הם השכבות המולקולות האורגניות העוטפות את חלקיקי הזהב ובאופן טבעי, מונעות מהם להידבק בצורה בלתי-הפיכה אחד לשני.

שאר התכונות הכימיות והפיסיקליות שלהם (בקירוב גס) דומות. עבור משפחת החומרים הפולאריים (המוצגת באיור מס' 3, לדוגמא), האף האלקטרוני הראה יכולת אבחון מצוינת בין החומרים השונים במשפחה זו (איור 3), בהתאם למומנט הדיפול שלהם. בצורה מאוד מעניינת, רמת האבחון בין החומרים השונים, באמצעות אותו אף אלקטרוני, הינה מעבר לשגיאה הניסיונית ו/או הסטטיסטית. כהוכחה לכך, עיון באיור 3, כדוגמא טיפוסית, מראה כי עבור מקבץ נתון בצבע ובצורה מסוימת (האופייני לחומר מסוים), פיזור הנקודות באותו מקבץ (כאשר כל נקודה היא חזרה על אותה מדידה), אינו גורם לחפיפה עם נקודות אחרות במקבץ סמוך.

אף אלקטרוני הבנוי ממערך חיישנים מבוססי ננו-חלקיקים עטופי מולקולות אורגניות המחובר למערכת זיהוי תבניות מסוגל לזהות מגוון רחב של חומרים נדיפים אורגניים בריכוזים הדומים לאלו הנמצאים בדוגמאות נשימה. למשל, האף האלקטרוני המפותח הראה יכולת אבחון מצוינת בין חומרים א-פולאריים (כגון, n-Octane, n-Heptane, n-Hexane ו-Ethanol) וחומרים פולאריים (כגון, iso-Octane ו-Ethyl Acetate). עבור משפחת החומרים הא-פולאריים (המוצגת באיור מס' 3, לדוגמא), האף האלקטרוני הראה יכולת אבחון מצוינת בין החומרים השונים במשפחה זו, אשר למעט הבדלים מזעריים במשקל המולקולארי ואורך השרשראות הכימיות של החומרים השונים,



איור מס' 3: מערך זיהוי תבניות של אף אלקטרוני, הבנוי ממערך של חיישנים מבוססי ננו-חלקיקי זהב עטופי מולקולות ארוגניות, שנחשף למגוון חומרים פולאריים וא-פולאריים. כל חומר מאופיין ע"י מקבץ של נקודות בעל צבע וצורה שונה בגרף. עבור מקבץ נתון (בצבע וצורה מסוימת), כל נקודה היא חזרה על אותה מדידה, בכדי לבדוק את האמינות והמהימנות של החיישנים.

האלקטרוני (איור 4b) הכולל מערך של חיישנים מבוססי ננו-חלקיקים עטופי מולקולות אורגניות (איור 4c).

חשיפת האף האלקטרוני לתבניות נשימה של אנשים החולים במחלת הסרטן ואנשים בריאים, הראתה יכולת זיהוי מצוינת בין שני המצבים. כפי שניתן לראות באיור 4d, כדוגמא טיפוסית, האותות המתקבלים מהתקן האף האלקטרוני בזמן חשיפה לתבנית נשימה מראה אותות חישה הנבדלים אחד מהשני בהתאם למצב הבריאותי של הנבדק: בריא, חולה בסרטן ריאות, חולה בסרטן השד, חולה בסרטן המעי הגס, וחולה בסרטן הערמונית.

מחקר קליני שכלל 40 חולי סרטן ריאות בשלבים מתקדמים (שלבים 3 ו-4) ו-56 אנשים

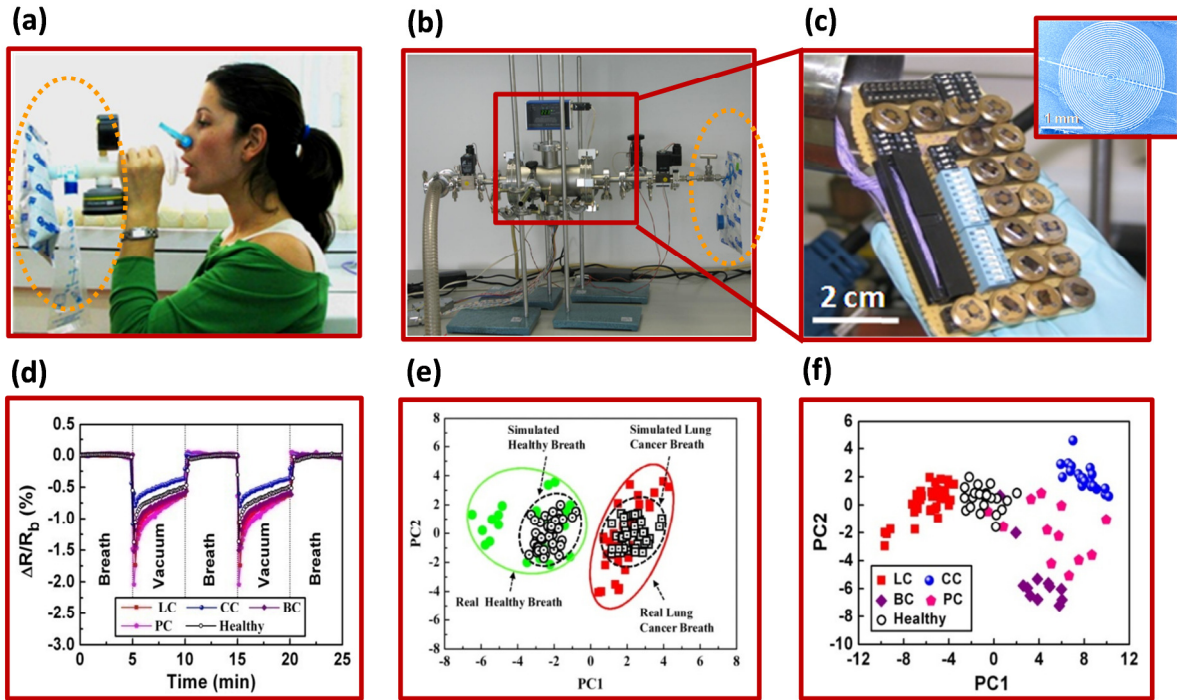
מערכות אף אלקטרוני מבוססות ננו-חלקיקים לאבחון מחלות דרך דוגמאות נשימה

לצורך בדיקות הנשיפה (ראו איור 4a), נאסר על המתנדבים לשתות קפה כשעה אחת לפחות לפני הבדיקה. בנוסף, נאסרה עליהם צריכה של משקאות אלכוהולים כ-12 שעות לפני בדיקת הנשיפה. לפני כל בדיקה המתנדבים שואפים אוויר מתוך פילטר למשך כמה דקות, על מנת "לנקות" את הריאות מהחומרים האורגניים הנדיפים הנמצאים בחדר. לאחר מכן, המתנדבים נושפים לתוך אותו הפילטר אך הפעם, מחוברים אליו מצידו השני שקית אנרטיית העשויה לקלוט את דוגמת הנשיפה הריאתית. השקית האינרטיית הכוללת את אוויר הריאות מחוברת לאחר מכן למערכת האף

בריאים (ללא שום עדות קלינית להימצאות סרטן בגופם/ן), הראה כי מקבץ האותות שהתקבל מהאף האלקטרוני עבור האנשים החולים היה מופרד לחלוטין ממקבץ האותות שהתקבל מקבוצת האנשים הבריאים (איור 4e). הבדל זה מצביע על האפשרות של גילוי סרטן הריאות אשר יכול לנבוע משילוב של מספר גורמים, בין היתר כתוצאה מהבדלים בריכוז הביו-סמנים והרכב תבניות הנשימה, ביחס לנשיפה של בני אדם בריאים. במחקר קליני אחר שכלל 178 מתנדבים/ות, נבדקה האפשרות להפריד בין הסוגים השונים של מחלת הסרטן. כמחלות מייצגות, נבדקו הסרטים הבאים: סרטן ריאות, סרטן השד, סרטן המעי הגס, וסרטן הערמונית. כפי שניתן לראות מאיור 4f, מקבץ האותות שהתקבלו עבור כל סוג של מחלה סרטנית היה שונה בתכונותיו ומופרד ממקבץ האותות של הקבוצה הבריאה, דבר אשר מצביע על אפשרות הפרדת סוגים שונים של סרטן מאנשים בריאים. בנוסף, מקבצי האותות שהתקבלו עבור הסרטנים השונים היו שונים אחד מהשני, דבר אשר מצביע על יכולת האף האלקטרוני להפריד לא רק בין חולי סרטן ובריאים, אלא גם בין סוגי הסרטן השונים. דרגת הדיוק של המכשיר, דהיינו המצבים בהם

המכשיר עשוי לזהות את מצב הנבדק נכונה, היו לרוב גבוהים (79-93%) והיו תלויים בסוג הסרטן.

עבור סרטן ספציפי, הנמצא באזור מסויים של הגוף, האף האלקטרוני הוכח כאמצעי מצוין לסיווג המחלה באמצעות דגימות נשימה. לדוגמא, עבור סרטן ריאות, ניתן היה להבחין בין הסוגים השונים של סרטן הריאות: גידול שפיר לעומת גידול סרטני ממאיר, גידול סרטני מסוג Non-Small Cell Lung Cancer (NSCLC) לעומת גידול סרטני מסוג Small Cell Lung Cancer (SCLC), תת-סוגים של ה-NSCLC, דהיינו גידול סרטני מסוג adenocarcinoma לעומת גידול סרטני מסוג Squamous cell carcinoma, וכו'. תוצאות אלו מצביעות על אפשרות השימוש בבדיקות הנשיפה, באמצעות האף האלקטרוני, כתחליף או כבדיקה משלימה לטכניקות הקיימות היום לסיווג הגידולים הסרטניים, אשר, לרוב, מתבצעות היום ע"י בדיקת הרקמה הסרטנית בצורה חודרנית בתהליך שנקרא ביופסיה.



איור מס' 4: תהליך אבחון מחות סרטניות באמצעות דגימות נשימה. (a) איסוף דגימות נשיפה; (b) אף אלקטרוני לאנליזת בדיקות הנשימה; (c) מערך חיישנים מבוססי ננו-חלקיקים עטופי מולקולות אורגניות; (d) אותות המתקבלות מחיישן ספציפי בזמן חשיפה לדוגמאות נשיפה של אנשים בריאים, חוליות סרטן ריאות (LC: Lung Cancer), חוליות סרטן המעי הגס (CC: Colorectal Cancer), חוליות סרטן השד (BC: Breast Cancer), וחולי סרטן הערמונית (PC: Prostate Cancer); (e) זיהוי תבניות של האף האלקטרוני עבור דגימות נשיפה שנאספו מקבוצת חולים/ות בסרטן הריאות ומקבוצת אנשים בריאים; (f) זיהוי תבניות של האף האלקטרוני עבור קבוצת אנשים בריאים, חוליות סרטן ריאות (LC: Lung Cancer), חוליות סרטן המעי הגס (CC: Colorectal Cancer), חוליות סרטן השד (BC: Breast Cancer), וחולי סרטן הערמונית (PC: Prostate Cancer).

כאשר שלב 2 נחשב לשלב מוקדם של המחלה. כמו כן, היה ניתן להבחין בין חולי פרקינסון לאנשים בריאים, חולי אלצהיימר לאנשים בריאים, חולי פרקינסון לחולי אלצהיימר, חולי טרשת נפוצה לאנשים בריאים, וחולי טרשת נפוצה עם או בל התקף. בימים אלו נבדקים יישומים קליניים אחרים של האף האלקטרוני

היישומים הקליניים של האף האלקטרוני הורחבו למגוון רחב של מחלות אחרות. במחקרי הוכחת היתכנות ראשוניים, מרכיבי האף האלקטרוני "נתפרו" במיוחד לגילוי מחלות ומצבים בריאותיים שונים. במסגרת זו, ניתן היה להשתמש בבדיקות נשיפה להבחין בין חולי כליה לבין אנשים בריאים, כמו גם בין השלבים השונים של המחלה הכלייתית (שלבים 2 עד 5,

באבחון מגוון רחב של מחלות סרטניות, מחלות פנימיות, מחלות עצביות, ומחלות מדבקות.

לסיכום: התקן המדמה את האף האנושי עשוי לשנות את הטיפול במחלות. מדובר למעשה בהתקן הנקרא "אף אלקטרוני", הכולל מערך חיישנים זעירים בגדלים ננומטרים המחוברים ליחידת חישוב אלקטרונית. ההתקן יוכל לאבחן מחלות הסרטן באמצעות דגימות נשימה (למשל, על-ידי נשיפה אל תוך ההתקן באמצעות צינור דק המחובר בקצהו) כאשר התוצאה תופיע באופן מיידי, למשל, על צג המכשיר. בזכות גודלם הזעיר ותכונותיהם החשמליות,

הפיסיקליות והכימיות המיוחדות, החיישנים רגישים ביותר, ומסוגלים להריח את השינויים בהרכב החומרים שמאפיינים מחלות סרטן, ואפילו את השינויים בהרכב החומרים בשלביה השונים של המחלה. היתרון החשוב ביותר של השיטה הוא בכך שהיא תאפשר את אבחון המחלה בשלב מוקדם, עוד לפני שהמחלה מתחילה להתפשט, כך שניתן אפשר לטפל בה מיד ולחסל אותה בעודה באיבה. הואיל והמערכת עשויה להיות קומפקטית, ניידת, וזולה יחסית, היא עשויה להיות זמינה לכל רופא/מרפאה המעוניין/ת באמצעי זה.

מקורות

- (1) Tisch, U.; Haick, H. Arrays of chemisensitive monolayer-capped metallic nanoparticles for diagnostic breath testing. *Rev. Chem. Eng.* 2011, 26, 171-179.
- (2) Peng, G.; Tisch, U.; Adams, O.; Hakim, M.; Shehada, N.; Broza, Y. Y.; Billan, S.; Abdah-Bortnyak, R.; Kuten, A.; Haick, H. Diagnosing lung cancer in exhaled breath using gold nanoparticles. *Nature Nanotech.* 2009, 4 (10), 669-673.
- (3) Peng, G.; Hakim, M.; Broza, Y. Y.; Billan, S.; Abdah-Bortnyak, R.; Kuten, A.; Tisch, U.; Haick, H. Detection of lung ,breast, colorectal, and prostate cancers from exhaled breath using a single array of nanosensors. *Br. J. Cancer* 2010, 103, 542 – 551.
- (4) Peled, N.; Hakim, M.; Bunn, P. A.; Miller, Y. E.; Kennedy, T. C.; Mitchell, J. D.; Weyant, M. J.; Hirsch, F. R.; Haick, H. Use of a nanoparticle-based artificial olfactory system, NaNose, to distinguish malignant from benign pulmonary nodules. *J. Clin. Oncol.* 2010, 28, 10521.

כשהחינוך והתעשייה נפגשים: שיתוף פעולה בין

בית הספר הרב תחומי פתח תקוה ב' ובין חברת EIM

קולט מזמר-טוב, רכות מגמת אלקטרוניקה ומחשבים, בית הספר הרב-תחומי פתח תקווה ב'

רקע תיאורטי

של מדענים מהאקדמיה עם התעשייה לחקר פיתוחים חדשים, ודריסת רגל להשפעה על תכניות לימודים וכיווני מחקר.

לי (Lee, 2000) הגיע לתוצאות דומות במחקרו הבוחן את הקיימות של חווית שיתוף הפעולה בין אוניברסיטה לתעשייה. מחקרו התמקד בעיקר בתוצאות של ה"תן-וקח" בין האקדמיה לתעשייה. המשתתפים בהתנסות זו ציינו רווחים משמעותיים, חלקם צפויים וחלקם בלתי צפויים.

לי (Lee, 2000) מציין שמניעי האקדמיה לשיתוף פעולה עם התעשייה היו קבלת משאבים כספיים לחקר האקדמי, בדיקת יישומים מעשיים של התיאוריות והמחקרים שבוצעו בהם, חיפוש הזדמנויות עבודה, רכישת ידע שימושי להוראה על בעיות מעשיות, ויצירת הזדמנויות השמה לעבודה או להתמחות של הסטודנטים. מנגד, הסיבות של החברות לשתף פעולה עם האקדמיה היו בעיקר בתחומים של פתרון בעיות תכנון או בעיות טכניות מיוחדות שבהן נתקלו מהנדסים, פיתוח מוצרים ותהליכים חדשים וגיוס בוגרי אוניברסיטה. ברונטון וקול (Brunton & Coll 2005) חקרו את תרומת חיבור בית הספר התיכון לתעשייה לחיזוק החינוך הטכנולוגי. תוצאות המחקר מצביעות על הסכמתן של שלוש קבוצות עניין (המורים, סגל התעשייה המקומית וחברי הקהילה) בנוגע ליתרונות

מחקרים מצביעים על חשיבות שיתופי הפעולה בין מוסדות חינוך לבין התעשייה. מאתיוס ונוגארד (Matthews & Norgaard, 1984) טוענים שבתקופה בה אנו חיים, המאופיינת כעידן הידע והמידע, שיתוף פעולה בין המוסדות להשכלה גבוהה לבין התעשייה הינו הכרחי. התקשרויות אלה משפיעות בצורה מכרעת על ההתפתחות החברתית, החינוכית והטכנולוגית של החברה ומאפשרות לחברה להגיע למצוינות.

שיתוף הפעולה בין הצדדים תורמים אחד לשני. לדוגמה, מוסדות החינוך זוכים לשילוב מומחים מהתעשייה המעודדים להשתתף בתוכניות חינוכיות. כמו כן, התעשייה עשויה להציע משאבים טכניים ופיזיים שאינם זמינים למוסד החינוכי. בנוסף, התעשייה עשויה לספק לתלמידים גישה לציוד עדכני, ואו לתרום ואו לסבסד את רכישתו. יתר על כן, השותפות בין התעשייה למוסד החינוכי מאפשרת לתלמידים ולמורים גישה לפרויקטים מתקדמים בתעשייה ובמקביל התעשייה יכולה לספק לתלמידים עבודה חלקית או עבודה בחופשת הקיץ.

בתמורה לשיתוף הפעולה בין התעשייה למוסדות החינוך, התעשייה עשויה לצאת נשכרת בכך שהיא מקבלת הבטחה לכוח עבודה ייעודי עם הכשרה מתאימה, שותפות

בין החזון למעשה

צוות מורי האלקטרוניקה ברב תחומי פתח תקווה ב' פעל תמיד לקידום שיתוף פעולה עם התעשייה מתוך אמונה שחשיפת התלמידים לחידושים טכנולוגיים תתרום להרגשה של "גאוות יחידה" לנוכח הישגי התעשייה הישראלית, תזרע בתלמידים התלהבות, תעשיר את עולמם בדרכי למידה מגוונות בלתי פורמליות, תעורר את סקרנותם ותגביר את המוטיבציה שלהם ללמוד ולהגיע למצוינות.

לכן, צוות מגמת אלקטרוניקה בעמל רב תחומי ב' פתח תקווה, - יעקב בוז'יקובסקי, עזרא בן שוהם, דוד ברששת, קולט מזמר-טוב, רפי מרקוס, שאול סגינהור, דוד פורקוש ורפי פנסו - יזם והוביל פרויקט ייחודי חברתי-טכנולוגי לקידום התלמידים. פרויקט ערכי זה עולה בקנה אחד עם תכנית משרד החינוך לעידוד השכלה במקצועות הטכנולוגיים מחד גיסא, ועם רצון התעשייה להשתתף בפיתוח ההון האנושי תוך שיתוף פעולה עם המובילים במערכת החינוך מאידך גיסא.

הצעד הראשון למימוש החזון – השתלמות מורים טכנולוגיים בתעשייה

מימוש החזון התאפשר בזכות "השתלמות מורים טכנולוגיים בתעשייה" ביוזמת התאחדות התעשיינים ורשת עמל. מורי מגמת האלקטרוניקה של בית ספרנו השתתפו בהשתלמות זו במחזור א' בשנת תשי"ע ובמחזור ב' בשנת תשע"א, במטרה להכיר את המפעלים ולבסס שיתוף פעולה עימם.

של חיבור זה, כגון: עדכון תכנית הלימודים בתכנים רלוונטיים וחדשניים לתקופה, חיזוק המוטיבציה של התלמידים על ידי שיחות מוטיבציה וסיורים במפעלים, הבנה טובה יותר של תעשיית ה-High Tech החדשה וגילוי הזדמנויות מקצועיות. תוצאות מחקרם של ברונטון וקול (2005) Brunton & Coll מראות שקשר ארוך טווח בין בית הספר לתעשייה רצוי, ותקשורת פתוחה וסדירה בין קבוצות בעלי העניין הינה חיונית בהקמת קשרים בין בית הספר לתעשייה.

אחת הדרכים לשיתוף פעולה בין המוסד החינוכי לתעשייה הינה שילוב פרויקטים מעניינים ומאתגרים בתעשייה. ממצאי המחקר של ברק (2002) מראים כי תלמידים בעלי הישגים גבוהים מצפים כי לימודי האלקטרוניקה יעמידו בפניהם אתגרים. התלמידים שואפים לתכנן ולבנות מערכות מורכבות, להתמודד עם בעיות "פתוחות", להגיע לפתרונות בכוחות עצמם וללמוד משגיאותיהם. ג'ונסון (Johnson, 1992) טוען שעל מורים טכנולוגים לפעול בכיתותיהם כמו אנשי התעשייה הטכנולוגית. על המורים לפתור בעיות טכנולוגיות לא מוכרות עבור התלמידים, ולא לפחד מבצוע טעויות כשנתקלים בקשיים במציאת פתרונות. טורנבול (Turnbull, 2002) טוען כי על תלמידים הלומדים בחינוך הטכנולוגי להיות מעורבים בהתנסויות המשקפות הבנה בתרבות הטכנולוגית המעשית העכשווית. מכאן, שעל התלמידים, וזו אף זכותם, להבין את הרלוונטיות והמקום של מה שהם לומדים.

מגמת אלקטרוניקה בבית הספר רב תחומי פ"ת ב' מיישמת תאוריות אילו כמתואר בסעיף הבא.

בתמונה 1 נראה סיור תלמידי בית הספר בחברה הבינלאומית Applied Materials הממוקמת ברחובות. במפעל Applied Materials מיצרים מכונות חדשות המיועדות לפקח על תהליך ייצור מעגלים משולבים. במהלך השנה התלמידים סיירו גם במפעל S.M.Digitek מפתח תקווה. מפעל S.M.Digitek מתמקד בהרכבת מעגלים מודפסים באמצעות רובוטים בשיטות מהמתקדמות ביותר בעולם. כמו כן, הסיורים במפעלים לוו במרצים חיצוניים שהרצו בנושאים הקשורים לעבודתם ולנעשה בתעשייה. לדוגמה: אני כהן, מנהלת מחלקה באגף מערכות מידע ותקשוב בחברת החשמל, הרצתה בנושא "הבית החכם – הרשת החכמה (SMART GRID)" בפני 180 תלמידי אלקטרוניקה מהתיכון והמכללה ומוריהם.

מטרת ההשתלמות הייתה לחזק את הקשר בין המורים המובילים בחינוך הטכנולוגי לבין התעשייה הישראלית העכשווית. במהלך ההשתלמות, בת 120 שעות, המורים ביקרו בחברות המובילות בתעשייה, כגון: אל-אופ, חברת החשמל, קבוצת אוסם, מפעלי דגש, אבקו, ארדן, EIM, מפעלי בית שמש ורבים אחרים. המורים נחשפו בהשתלמות לתהליכי העבודה ולטכנולוגיות המתקדמות ביותר בתחומי דעת שונים כגון: אלקטרוניקה, חשמל, פיזיקה, אופטיקה ומכונות. תחומים אלו העשירו את המורים בידע תאורטי בתחומי דעת מגוונים ובהבנת מיומנויות הלמידה שיש לפתח אצל תלמידינו למען שילובם בתעשייה ולמען תרומתם לפיתוחה ולשגשוגה.

נוצרו שיתופי פעולה ראשוניים בין בית הספר לתעשייה שכללו סיורים מודרכים של תלמידי בית הספר בחברת החשמל בחדרה ובמפעלי היי-טק.



תמונה 1: סיור מודרך בחדר הנקי בחברת Applied Materials צילום: Applied Materials

תרומת שיתוף הפעולה בין מפעלי התעשייה למוסדות החינוך לחווית התלמידים

כנזכר ברישא, טורנבול (Turnbull, 2002) טען שעל תלמידים בחינוך הטכנולוגי להיות

מעורבים בהתנסויות המשקפות הבנה בתרבות הפרקטיקה הטכנולוגית המעשית העכשווית. בסיוורים המוצגים לעיל, בהם תלמידי מגמת אלקטרוניקה מבית הספר סיירו במפעלים, התלמידים תיארו שביעות רצון מהפרקטיקה המעשית. לדוגמה:

תלמיד כיתה י': "לפני הסיור ב-Applied Materials למדנו

בבית הספר על עקרונות תהליך הייצור של מעגלים משולבים. בסיוור בחברה קיבלנו הרצאה על פועלה ועל החידושים שהיא מביאה לעולם ה-Semiconductor. לאחר מכן לבשנו חליפות מיוחדות ונכנסנו לתוך החדר הנקי. בסיוור נחשפנו לטכנולוגיות החדשות ביותר בעולם. במהלך הסיור הבנו, שהיי-טק הוא גם הנאה, כאשר בסופו שתינו ואכלנו בבית הקפה "ארומה" שבמפעל."

תלמיד כיתה יב': "יצאנו לסיור במפעל ייצור מעגלים מודפסים

הנקרא "SM Digitek". במהלך הסיור ביקרנו בקו הייצור של המפעל, התרשמנו מיכולת הייצור ומהציוד המתקדם הקיים בו. בחברה קיבלנו הסברים על אופן תהליך ייצור המעגלים ותכנונם, על פעולות המכונות, על תחום האלקטרוניקה וחשיבות טכנולוגיה המתפתחת בכל התחומים המשולבים בחיינו. כתלמידי אלקטרוניקה שמחנו לגלות שבתחום שלנו קיים ביקוש לכוח אדם מקצועי ורבים בו החידושים.

של התאחדות התעשיינים. קבוצת EIM הינה אחת מחברות הפיתוח, ההנדסה והאינטגרציה מהמובילות בישראל, המעניקה ללקוחותיה פתרונות, כלים ושירותים מקצועיים משולבים ומורכבים טכנולוגית. החברה ממוקמת באזור התעשייה קריית מטלון בפתח תקווה קרוב לבית הספר הרב תחומי פתח תקווה ב'.

מדוגמאות אלו ניתן לחוש את מידת שביעות הרצון של התלמידים התורמת לעידוד המשך הפעולה בין המוסד החינוכי למפעל ואו לחברת ההייטק.

הצעד השני למימוש החזון - שיתוף הפעולה האסטרטגי עם חברת EIM

הקשר עם מפעל האלקטרוניקה EIM נוצר בחודש בינואר 2011 במסגרת ההשתלמות



תמונה 2: מפגש הוקרה ופתיחה של שיתוף הפעולה עם חברת EIM . במסגרתו נפגשו נציגי המפעל עם הנהלת בית הספר ועם צוות הפיקוח על מגמת אלקטרוניקה

משמאל לימין: עזרא בן שוהם מורה ומנחה פרויקטים, יעקב בוז'יקובסקי מורה ומנחה פרויקטים, איציק סמואל מנכ"ל EIM, ריקי כהן מנהלת בית הספר, קולט מזמר-טוב רכזת מגמת אלקטרוניקה, נטע בגים סמנכ"לית EIM. סוכם על שיתוף פעולה אסטרטגי בין בית הספר לחברה. במסגרת שיתוף הפעולה חברת EIM תפרוס את חסותה המקצועית על מגמת האלקטרוניקה של בית הספר ותשתלב בעשייה בתחומים שונים:

- **עזרה בשיווק המגמה:** בחודש פברואר, בפגישה הראשונה עם צוות EIM במטרה לתכנן את תחומי שיתוף הפעולה, העלינו את נושא שיווק מגמת האלקטרוניקה והמחשבים. שיתוף הפעולה הוביל לצילום במפעל של סרטון לשיווק המגמה, בסיוע של שתי תלמידות ממגמת תקשורת של בית הספר. בסרטון רואיינו מנכ"ל החברה איציק סמואל ומנהל התחום הטכני יובל בן מרדכי,

- **ביצוע עבודות גמר של תלמידים בהתאמה לצורכי המפעל:** לשיתוף פעולה זה חשיבות עליונה מבחינה פדגוגית, מקצועית וחברתית. בנוסף, סגל המפעל עזר ביישום עבודות הגמר של תלמידי י"ב בתהליך עבודה משותף. בתחילה, אנשי סגל המפעל עסקו במיפוי

צרכים במפעל ובניית תוכנית עבודה לתכנון וביצוע פרויקט הנותן מענה לצורכי המפעל. לאחר מכן שמונה תלמידים השתלבו בביצוע עבודות גמר המיועדת לניטור טמפרטורה ולחות באולמות הייצור של המפעל.

אחד התלמידים מתוך השמונה מתאר:

הרעיון לפרויקט עלה מתוך צורך שהציגה בפנינו חברת האלקטרוניקה EIM, העובדת בשיתוף פעולה עם בית ספרנו. החברה העלתה בפנינו בעיה: באולם ייצור המעגלים המודפסים שלהם נפגעת פעולת ההלחמה של המעגלים המודפסים כאשר הטמפרטורה והלחות באוויר עוברות את הרמה הרצויה. הדבר גורם להפסדים בסדרי גודל של מיליוני שקלים. הפתרון שהועלה הוא בניית מדי לחות וטמפרטורה שימדדו את הטמפרטורה ואת הלחות באולם הייצור בכל רגע ורגע. תוצאות המדידה ישודרו בשידור אל-חוטי למקלט שיקלוט את הנתונים של כמה מדי טמפרטורה ולחות המפוזרים בכמה אולמות ייצור. הנתונים הנקלטים יוצגו בה בעת על צג מחשב בטבלה מסודרת, שבה יהיה ניתן לראות את הטמפרטורה ואת הלחות בכל אולם ייצור בכל רגע ורגע. ברגע שהמערכת מזהה חריגה בטמפרטורה או בלחות באולם מסוים, נשלחת התרעה באימייל לאחראי.

כאשר מהנדס החברה שיתף את התלמידים בשיקולים הקשורים לתקנים בתעשייה, לתהליכי עבודה במפעל ולחידושים טכנולוגיים. העבודה של התלמידים התבצעה בצוותים, כך שכל צוות היה אחראי להציע מערכת כוללת. שיתוף הפעולה ביניהם הכרחי להצלחת הפרויקט כולו.

התלמידים ביצעו את עבודות הגמר בהנחיית מורה מבית הספר ומהנדס RF מטעם החברה. צוות בית הספר תכנן תכנון ראשוני לפרויקט ובשיתוף פעולה עם התלמידים בחר את הרכיבים וההתקנים הדרושים כגון: חיישנים, משדרים ומקלטים, ערכות מיקרו-בקרים וכו'. הסכימה החשמלית הסופית גובשה בשיתוף פעולה עם מהנדס החברה על פי מפרט טכני שהוכן על ידי EIM. חלק מתהליך העבודה התבצע במפעל עצמו,

שיתוף הפעולה בין המוסד החינוכי

לבין המפעל בעיני המורים

עזרא בן שוהם, מנחה הפרויקטים של שמונה התלמידים טוען שלמידה מתוך עיסוק בבעיות אותנטיות היא למידה טבעית. קיימת מוטיבציה גבוהה ואתגר לפתרון בעיה שאינה מנותקת מהמציאות. בלמידה כזו ניתן לומר כי בתהליך פתרון הבעיה הלומד מעבד בדרך כלל אינפורמציה חדשה באמצעות הידע ותבניות החשיבה שקיימות אצלו ועובר תהליך של הטמעה והתאמה עד שהוא מגיע לאיזון. התלמידים נחשפים לשיטות עבודה מהתעשייה ומקבלים הדרכה ותמיכה טכנית ממהנדס החברה איתי זוארץ.

תרומת העבודה המעשית

במסגרת הפרויקט התלמידים יישמו את לימודי התאוריה במגמת האלקטרוניקה והמחשבים. בנוסף, התלמידים רכשו ביטחון וידע לגבי יכולתם להתמודד עם בעיה ממשית. כבר בשלבים הראשונים התלמידים נחשפו למכשירים לא סטנדרטיים במעבדת בית הספר, כגון Spectrum Analyzer.

בנוסף, התלמידים התמודדו עם דפי מפרט באנגלית, עבדו עם ערכות פיתוח חדשניות בתחום המיקרומעבדים, וחלקם למדו לתכנת בשפת C# שאינה שפת התכנות של לימודי המגמה.

אין שום ספק שביצוע פרויקט הגמר של מגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים ברב תחומי פתח תקווה ב' בשיתוף חברת EIM היותה קפיצת מדרגה משמעותית שלה זוכים תלמידינו.

שיתוף הפעולה בין המוסד החינוכי

לבין המפעל בעיני קבוצת EIM

כבר לפני שנים רבות, קבוצת EIM שמה לה כערך משמעותי את קידום החינוך הטכנולוגי. קבוצת EIM בחרה להשקיע מאמצים ומשאבים שונים בתלמידי מגמת האלקטרוניקה, מתוך הצורך העולה בשטח עצמו במסגרתו קיים חוסר בעובדים בתעשיית האלקטרוניקה. שיתוף פעולה עם בתי ספר טכנולוגיים הינו כלי איכותי המאפשר למפעלים וחברות לייצר דור המשך לתעשיית האלקטרוניקה המפוארת שהייתה בישראל בעבר. החינוך הטכנולוגי הוא אבן ייסוד בתעשייה הישראלית כולה ועלינו לדאוג לשמור עליו, למען חוסנו וביטחוננו.

איציק סמואל, מנכ"ל החברה טוען שהתעשייה הישראלית זקוקה לידיים עובדות בתחומי האלקטרוניקה. התעשייה משוועת לטכנאים, הנדסאים ומהנדסים בצוותי התכנון והביצוע. עלינו להקנות לתלמידים ידע רחב ועדכני ככל הניתן. אסור לנו להסתפק בלימודי בית הספר אלא חובה עלינו להעשירם בתכנים שיסייעו להם בהמשך הדרך.

עוד הוסיף סמואל: "אנו מאמצים מספר בתי ספר ברחבי הארץ, אך בית הספר הרב תחומי פתח תקווה ב' מהווה דוגמא לשיתוף פעולה יוצא מן הכלל, המעניק סיפוק לכל הצדדים. יחד יצרנו מסגרת ייחודית של פעילות משולבת. אנו מגיעים אל התלמידים בבית הספר והם מגיעים אלינו. מספר תלמידים אף ייקחו חלק וישולבו בפרויקטים שונים אותם אנו מבצעים. תלמידים מצטיינים מבית הספר יזכו למלגה מאתנו בכדי לעודד הצטיינות בתחום".

עם הפנים לעתיד

אנו מאמינים שהתנסויות בעבודה מהוות חלק מתוכנית לימודים המאפשרת צבירת ניסיון וכישורי חיים.

שיתוף הפעולה עם חברת EIM מעצים גם את מורי בית הספר, המבקשים להרחיב את תחום הדעת שלהם כל העת. לשם כך יוזם צוות מגמת האלקטרוניקה מדי שנה השתלמויות מקצועיות במימון רשת עמל בנושאים הבאים: שפת C, שפת VHDL, יישום פרויקטים ממוחשבים ויישום פרויקטים חדשניים.

כפי שהראינו במאמר זה, משיתוף הפעולה החדשני עם חברת EIM יוצאים נשכרים גם צוות בית הספר והתלמידים, וגם אנשי התעשייה, המקבלים פלטפורמה להצגת החידושים הטכנולוגיים האחרונים בפני דור העתיד.

לסיכום, צוות מגמת האלקטרוניקה בבית הספר הרב תחומי ב' פתח תקוה, מאמינים שבתוך עולם דינמי ומשתנה עלינו לעודד פיתוח מיומנויות שלהן יזדקקו הבוגרים כאזרחי חברה טכנולוגית מודרנית.

האינטראקציה עם התעשייה, דוגמת שיתוף הפעולה המוצלח עם חברת EIM, מאפשרת לתלמידינו להיחשף לחוויות ולאתגרים מקצועיים ברמה שהיא מעבר ללימוד התיאורטי בבית הספר.

ההתמודדות עם האתגרים מזמנת חוויות הצלחה וחיזוקים חיוביים, מפגישה את התלמידים עם קבוצות שונות, עם דעות, עמדות ורצונות שונים, ומקנה להם כלים חברתיים מעצימים.

מקורות

ברק, מ. (2002) לימוד אלקטרוניקה סביב פרויקטים ופיתוח כישורים אינטלקטואליים גבוהים, דוח מחקר, חיפה, הטכניון.

Brunton, M., & Coll, R.K. (2005) Enhancing Technology Education by Forming Links with Industry: A New Zealand Case Study, *International Journal of Science and Mathematics Education 3(1)*, 141-166.

Johnson, S.D. (1992) A Framework for Technology Education Curricula Which Emphasizes Intellectual Processes, *Journal of Technology Education 3(2)*, Spring.

Lee, Y.S. (2000) The Sustainability of University-Industry Research Collaboration: An Empirical Assessment, *Journal of Technology Transfer 25*, 111-133.

Matthews, J.B., & Norgaard, R. (1984) *Managing the Partnership Between Higher Education and Industry*, The National Center for Higher Education Management Systems (NCHEMS), Boulder, Colorado, 195-203.

Turnbull, W. (2002) The Place of Authenticity in Technology in the New Zealand Curriculum, *International Journal of Technology and Design Education 12*, 23-40.

תהליכי למידה ודרכי הערכה סביב פרויקט טכנולוגי

אהרון שחר, מנהל מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים- מורטק, המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל, חיפה

מבוא

מספר גדול של תלמידים בעלי רקע לימודי שונה.

לאור שינויים אלה, עולה השאלה מהי הדרך הטובה ביותר להערכת עבודה סביב פרויקט טכנולוגי המאופיין בתהליך לימודי ארוך (כשנת לימודים) ובו קיימים אלמנטים של חשיבה מסדר גבוה.

דרכי הערכת פרויקטים בחינוך הטכנולוגי

שיטות הערכה קונבנציונליות אינן עונות על הצורך להעריך את תהליך הלמידה שהתרחש. מבחנים סטנדרטיים, אפילו כאלה שפותחו במיוחד להערכת תהליכי חשיבה ביקורתית, מתאפיינים בכך שהתוצאה הסופית של כל שאלה בהם יכולה להיות רק אחת. כיצד ניתן להעריך תוכנית שאחת ממטרותיה היא פיתוח חשיבה המייצרת עושר של פתרונות ואפשרויות שלכל אחד מהם יש יתרונות וחסרונות?

יתרה מזאת, בלמידה בצוותי פרויקט טכנולוגי מיוחסת חשיבות רבה למיומנויות של חשיבה טכנולוגית, תכנון הדגם, תכנות הבקרה שלו, בניית הדגם, סרטוט, חשבים חשמליים, חישובים הנדסיים, איסוף מידע לסקירה טכנולוגית ועוד. כלומר, הערכת תהליך הלמידה של תלמידים העוסקים בפרויקט טכנולוגי הופכת להיות דבר מורכב.

זוהר (1996) מציינת כי הקשיים בהערכה של תוכניות הוראה לפיתוח חשיבה הביאו אנשי חינוך רבים להכרה בצורך בשינוי דרכי ההערכה. שיטות הערכה אלטרנטיביות נועדו

קופתנו מאופיינת בשינויים מהירים בתחומי המדע, הכלכלה, הטכנולוגיה והחברה, המונעים ע"י תגליות מדעיות, פיתוחים טכנולוגיים, בד בבד עם התפתחות מהירה של ידע. לכן, קיימת ציפייה כי הדגש החינוכי יוסט מלמידת תכנים ספציפיים להקניית מיומנויות חשיבה גבוהות, כגון יכולת לימוד עצמי, פתרון בעיות, וחשיבה רפלקטיבית. כמו כן מוצע כי הדגש של החינוך יוסט מלמידה יחידנית ללמידה בצוות, מלמידה סבילה ללמידה יוצרת ומהתעסקות במטלות פשוטות להתעסקות במטלות משמעותיות ומאתגרות. לימוד סביב פרויקטים בטכנולוגיה נראה מסגרת טבעית ליישום רעיונות אלו, מכיוון שהפרויקט הטכנולוגי עשוי לקשור את הנלמד בבית הספר לעולם המציאותי, לספק סביבת עבודה אוטנטית ועשירה בתכנים ובאמצעים לתכנון ובנייה של מערכות טכנולוגיות, ולאפשר לתלמידים ולמוריהם לעבוד בצוותים באווירה חופשית וגמישה.

לאור היתרונות הפדגוגיים של למידה סביב פרויקטים, בעשור האחרון מספר התלמידים המכינים פרויקט גמר באלקטרוניקה הלך וגדל. כיום, יותר ממחצית הלומדים במגמה זו מגישים פרויקט גמר, כחלופה חלקית לבחינה העיונית. אולם, המעבר מההוראה המסורתית ללימוד סביב פרויקטים אינו משימה קלה לתלמידים ולמורים, היות ובדרך לימוד זו האחריות ללמידה עוברת במידה רבה מהמורה אל התלמיד. כמו כן, המורים נדרשים לא פעם להנחות בו זמנית

להעריך לא רק את התוצר הסופי של הלמידה (כפי שמקובל במבחנים מסכמים), אלא את תהליך הלמידה עצמו.

לכן, נוצר הצורך בהערכה חלופית. הערכה חלופית מהווה מרכיב אינטגרלי בתהליך ההוראה והלמידה, ולא שלב מסכם; הערכה חלופית מתמקדת בתהליך הלמידה ולא רק בתוצר; הערכה חלופית בודקת הבנה וחשיבה ולא שינון וזכירה; הערכה זו נוגעת לעבודת הצוות ולתרומת היחיד לצוות; הלומד הנו שותף פעיל בקביעת היעדים אליהם שואפים להגיע ובהערכת ההישגים שלו ושל חבריו; בהערכה חלופית מתקיים דו-שיח בין התלמיד ובין המורה, אודות מטרות ההערכה, דרך ביצועה ומסקנותיה; הערכה חלופית מתבססת על מטלות אותנטיות, משמעותיות ללומד, בעלות ערך ועניין; הערכה חלופית כוללת מרכיב משמעותי של רפלקציה של הלומד על הלמידה (Berenson and Carter, 1995).

מהו פרויקט טכנולוגי?

ראשית, לימודי הטכנולוגיה הם מסגרת טבעית ללימוד סביב פרויקט. לימודי הטכנולוגיה מתרחשים בסביבה עשירה ומשוכללת הכוללת מכשור מעבדתי מתקדם, ואמצעים מתקדמים וממוחשבים לבניית מערכות טכנולוגיות. המעבדה הטכנולוגית עשויה לפתח אצל הלומדים למידה משמעותית, היות ובפרויקט הטכנולוגי טמונות מיומנויות של עשייה, ביצוע וחשיבה מעבר למיומנויות מילוליות (De Vries, 2005).

שנית, לימוד בסביבת פרויקט המבוסס על תוכן טכנולוגי עשוי להתייחס ולהקיף מגוון רב של היבטים כגון: מדע, כלכלה, משפט,

אומנות והיבטים אנושיים של הנדסה (1990, Vincenti). לדוגמה, על תלמיד הבונה מערכת ל"ויסות טמפרטורה ולחות בחממה" ללמוד אודות תנאי הגידול של הצמח ועל פיזיקה של תהליכי חימום, בנוסף לתחומים הטכנולוגיים. זאת, על אף שבתוכנית הלימודים הנוכחית התלמידים לא נדרשים להתייחס לכל מגוון התחומים. מדוגמה זו ניתן להבין שלמידה סביב פרויקט טכנולוגי, עשויה לשמש בסיס ללמידה בין תחומית במדע וטכנולוגיה.

מהי טכנולוגיה?

למושג "טכנולוגיה" קיימות משמעויות רבות מתחומים שונים היות ולמידה סביב פרויקט טכנולוגי משלבת היבטים של מלאכה, אומנויות, הנדסה ויישומי מדע. להלן מספר הגדרות.

וקס (1996) מגדיר את הטכנולוגיה כמצבור הידע, המיומנויות והאמצעים לסיפוק צרכי האדם ומאווייו באמצעות תכנון, יצור, עשייה, הרכבה, שימוש והערכה של מוצרים או תהליכים.

דה וריס (De Vries, 2005) בספרו *The Philosophy of Technology for Non-Philosophers* מגדיר טכנולוגיה כניצול משאבי הטבע, כגון חומר ואנרגיה, לטובת צרכים אנושיים, המונעים ממניעים תרבותיים כגון כסף, וקשרי גומלין חברתיים, זאת על ידי שימוש בידע ובמידע. לפי הגדרות שהוזכרו לעיל מרבית החוקרים שמים דגש על "הידע" שנרכש. מהו "ידע" זה? והאם הוא ייחודי למקצועות הטכנולוגים? על כך בסעיף הבא.

סוגי ידע בטכנולוגיה

הבנית ידע גורמת ללמידה משמעותית. הבנית הידע מורכבת מידע ומידע. הרפז (2005) טוען שהלומד הינו לומד פעיל, מעורב, החותר למשמעות ובונה את מושגיו והבנייתו על בסיס המידע שקיים אצלו ניסיונו האישי ולאור מטרותיו. המידע מגיע לתלמיד ממקורות רבים בצורה מכוונת ובצורה אקראית (Johnson, 1997) והתלמיד בונה משמעות למעשיו בצורת ידע. ידע הינו תובנה המבוססת על ניסיון. במילים אחרות, ידע הוא המשמעות של מכלול המידע לגבי אדם מסוים. לדוגמה, זכרונו של אדם מכיל ידע ולא מידע גרידא, משום שהוא מאורגן בהקשרים של סיבתיות ותכלית. תהליך הרחבת היקף הידע המצוי במכלול ידע מסוים מכוונה למידה.

מקורמיק (McCormick, 2004) טוען שבהוראה קיימת חשיבות רבה להכרת סוגי הידע. על כן, על מורים המנחים פרויקטים להיות מודעים לתהליכי הידע, וללמד בכיתה בצורה מושכלת בהתאם לסוגי הידע. ניתן להבחין בארבעה סוגי ידע: ידע הצהרתי, ידע הליכי, ידע מושגי וידע איכותי.

ידע הצהרתי

הידע הצהרתי הוא מה שהאדם סובר בנוגע לעולם (עובדות ותופעות) ויכול לומר "אני יודעת ש...". לדוגמה, בתחום המדעי, אדם יכול לומר: אני יודע שהמים רותחים ב 100 מעלות צלזיוס. בתחום המתמטי, אדם יכול לומר: אני יודע ש $2 + 2 = 4$, אבל הוא אינו יכול להסביר מידע זה או לקשור אותו למידע אחר.

ידע הליכי (פרוצדוראלי)

ידע הליכי הוא מכלול הפעולות בחשיבה ובמעשה, שהאדם יכול לעשות בזיקה לידע

הצהרתי (תומר, 1990). ידע זה כולל בתוכו סמלים מוסכמים, שפה ייצוגית, מיומנויות, חוקים, פרוצדורות ותוכניות. (Rittle-Johnson and Alibali, 1999; Haapasalo and Kadivevich, 2000; Ben-Hur; 2006)

מקורמיק (McCormick, 1997) טוען שידע הליכי כולל תכנון, פתרון בעיות, נוהלי מערכות בדיקה, ומודלים טכנולוגיים. המאפיין את סוג הידע ההליכי הוא שניתן לומר "כיצד" לעשות משהו. לדוגמה, כיצד לחשב זרם במעגל חשמלי, או כיצד לכתוב תוכנית חוקית של מחשב. יש לציין שכמעט לכל תחום דעת קיימת השפה הייצוגית משלו לידע ההליכי.

ידע מושגי (קונספטואלי)

ידע מושגי הוא מכלול של קשרים ומערכות הגומלין בין מארג פיסות המידע שמרכיבות מבנה גדול יותר מידע ספציפי. (Rittle-Johnson and Alibali, 1999; Haapasalo and Kadivevich, 2000; Ben-Hur; 2006) לדוגמה, המושגים כגון משוב, תורשה, גלים, שדה, יהיו מובנים ללומד רק אם יובהרו הקשרים השונים ומערכת הגומלין בתחומים שונים הקשורים למושגים אלו. בהתייחס לטכנולוגיה, מקורמיק (McCormick, 1997) טוען שידע מושגי מתקיים כאשר הלומד יודע כיצד כל חלקי המערכת מתקשרים זה לזה, כלומר חשיבה מערכתית. ידע מושגי נרכש על ידי לימוד ממושך וניסיון, ולא ניתן ללמוד אותו בצורה ישירה.

ידע איכותי

מקורמיק (McCormick, 2004) טוען שבטכנולוגיה קיים ידע איכותי, זהו אותו

בנוסף, הידע יכול להיות תלוי נורמות תרבותיות. במקומות מסוימים פיתרון לבעיה יכול להיות מקובל ובמקומות אחרים לא מקובל. למשל, בתרבויות מסוימות פתרון טכנולוגי המצריך שילוב של פשתן וכותנה לא יתקבל משום "שעטנז".

פתרון בעיות בטכנולוגיה

לימוד נושאים טכנולוגיים מתקדמים, כגון אלקטרוניקה, קשור בפתרון בעיות אמת, בנושאים מעוררי עניין, ומתרחש בסביבה לימודית עשירה על-פי (Barak and Mesika, 2007) קיימות מספר אסכולות לדרכי פתרון בעיות בכלל וטכנולוגיות בפרט. אחת מהן היא אסכולת התיכון הגורסת שעצם התיכון (מלשון תכנון) מהווה תהליך לפתרון בעיות, כמתואר בהמשך.

תהליך התיכון

בספרות החינוכית מציינים את חמשת הצעדים של דיואי (Dewey, 1910) לתהליך של פתרון בעיות, ואילו הן:

- א. ראית הבעיה;
- ב. מיקום והגדרת הבעיה;
- ג. הצעה לפתרון הבעיה;
- ד. פיתוח דרכים לקביעת פתרון הבעיה;
- ה. ניסוי ותצפיות במימוש הפתרון, וקבלה או דחייה של הפתרון.

פוליה (Polya, 1945) שבא מתחום החינוך המתמטי, הציע מודל בין ארבעה שלבים לפתרון בעיה ואלו הם:

- א. הבנת הבעיה;
- ב. המצאת תוכנית לפיתרון;
- ג. ביצוע התוכנית;
- ד. ביצוע משוב על הפיתרון.

ידע ששט בין הידע ההצהרתי לבין הידע המושגי. בעלי הידע האיכותי מבינים או מעריכים תופעה ספציפית במערכת בלי להסתמך בהכרח על ידע הליכי, כמו משוואות מתמטיות או מונחים פיזיקאליים מדויקים. להלן מספר דוגמאות לידע איכותי, כשתלמידים:

- מקשרים בין דיבור בשפופרת הטלפון להעברת הקול לאפרכסת במקום מרוחק. כלומר הפיכת אות אנלוגי לאות חשמלי וההיפך.
- מבינים כיצד תיבת הלוחים משפיעה על מהירות וכוח המכונית.
- מזהים את הגורמים המשפיעים על קשיחות מבנה מכאני.
- מבינים יתרונות וחסרונות של משוב במערכת בקרה בחוג סגור לעומת מערכת בקרה בחוג פתוח.

דה וריס (De Vries, 2005) מציע זוויות ראייה נוספת לידע האיכותי מהפן הטכנולוגי וטוען שהאדם לא תמיד יודע להגדיר את הידע. אבל הוא נימצא, ובעל הידע מאמין בו. לדוגמה, הנגר יודע היכן להכות בדיוק עם הפטיש והמסמר בעץ, למרות שיתקשה להגיד מדוע הוא מכה דווקא במקום זה; לחילופין, הוא יאמר "אני מרגיש את זה". ידע זה יכול להיות גם מוצג בתרשים או בשרטוט. דרייפוס ודרייפוס (Dreyfus and Dreyfus, 1986) טוענים שקיים הבדל בדרך שבה טירון או מומחה רואים שרטוט: הטירון רואה פרטים והמומחה רואה הקשרים. הדבר נובע מכך שהמומחה מארגן בראשו את המושגים ואילו הטירון בונה את המושגים רק תוך כדי העבודה.

- ניתוח - בעיות המחייבות שימוש בשיגרות שהתלמיד אינו מתורגל בהן רבות, כל זאת כאשר קיימת רק דרך אחת לפתרון הבעיה.

- אסטרטגיה - בפתרון בעיות מסוג זה, התלמיד נדרש לבחור את דרך הפתרון האופטימאלית מבין דרכים אפשריות המוכרות לו.

- יישום - הבעיה לקוחה מחיי יום יום, ועל הפותר להציג את הבעיה באופן שניתן לפתורה באמצעות רוטינות מוכרות. לאחר מכן, נדרש הפותר לפרש את תוצאות הפתרון כך שיתאימו לבעיה כפי שהיא קיימת במציאות.

- יצירה - על הפותר לפתח שיגרה חדשה או לשלב בין הרוטינות בדרך שלא הייתה ידועה לו קודם.

וקס וברק (Waks and Barak, 1988) טוענים שהיתרון של הטקסונומיה הני"ל מתבטא בכך שהדרוג מתחשב בניסיון הקודם של התלמיד. לדוגמה, תלמיד שפתר בעיה ברמה גבוהה כיישום, בפעם הבאה כשיבוא לפתור את אותה בעיה, היא תהיה **עבורו ברמה נמוכה בגלל ניסיונו.**

ברק ושחר (Barak and Shachar, 2008) מדגישים שהטקסונומיה הני"ל הולמת את הלימודים ההתנסותיים בטכנולוגיה בכלל ובאלקטרוניקה בפרט.

ספקטרום התלמידים הלומדים סביב פרויקט טכנולוגי

בכיתות הטכנולוגיות לומדים תלמידים בעלי ספקטרום רחב מאוד של הישגים לימודיים, מתלמידים מתקשים הלומדים את המקצועות

לכאורה, דיואי ופוליה הציעו מודל כללי של פתרון בעיות, אבל יש החולקים על מודל זה. סלומון ואחרים (Salomon et al, 1991) מדגישים שעל פתרון הבעיה להבנות בתוך קשר תוכני של הבעיה, ולהיות תלוי באופן חזק בניסיון הקודם ובמצבים דומים של הפותר או של הקבוצה.

דה וריס (De Vries, 1997) שם את הדגש על ההבדלים לומדים בגישה לתכנון פיתרון בעיות. הוא טוען שעל המורה להיות מודע להבדלים בין התלמידים, והיות והתכנון יכול להיות תלוי באישיות התלמיד, קיימות צורות תכנון שונות.

דה וריס (De Vries, 1997) גורס, שעל המורה:

- לשלב בין תחומי הדעת הנלמדים בכיתה לבין התכנון;
- לכוון את לומד לתכנון פתרון בעיה ספציפית, ולא לספק דרכי תכנון לבעיה כללית.

טקסונומיה לפתרון בעיות

תלמידים הלומדים והמתנסים במעבדה נתקלים בבעיות מעשיות ונדרשים לתת מענה לבעיות טכנולוגיות. האם ניתן לבנות סולם רמת קושי לבעיות הטכנולוגיות?

פלנטס ועמיתים (Plants et al, 1980) פיתחו טקסונומיה לפתרון בעיות - Problem Solution Taxonomy ונקראת PST.

סולם PST קיימות חמש דרגות לסיווג בעיות בהקשר לטכנולוגיה והנדסה:

- שיגרה - בעיות שהתלמיד פתר בעבר רבות כמותן, הוא בקי בדרך הפתרון ואינו נדרש להפעיל שיקול דעת במהלך הפתרון.

הכללים ברמה בסיסית בלבד ועד תלמידים מצטיינים הלומדים מתמטיקה ופיזיקה ברמה של חמש יחידות בגרות.

סוגי הערכה

זילברשטיין (1992) מציג מספר אפשרויות לדרכי הערכה שמתייחסות להוראה כתהליך לאיסוף מידע, עיבודו, סיכומו ושיפוט המידע שנאסף והעמדתו לרשות המורים כמקבל ההכרעות:

הערכה מסכמת מתבצעת בסיום יחידת לימוד או בסיום הסמסטר / שנת הלימודים, לצורך מתן ציונים בתעודה או לצורך מתן דין וחשבון לנמענים אחרים.

הערכה מעצבת מטרתה העיקרית היא איתור צרכים לימודיים ספציפיים, על מנת למלאם בהמשך ההוראה. מטרתה – להזין את תהליך ההוראה והלמידה של הנוגעים בדבר; לספק היזון חוזר משמעותי בניהול הלמידה; שיפור ההוראה והלמידה; ומעקב אחר ההתקדמות בהשגת המטרות.

הערכה מאבחנת מטרת לאבחן קשיים ונקודות תורפה בהם ניתקל התלמיד במהלך הוראת יחידת לימוד, תוך זיהוי הסיבות והמקור לכישלון, ואיתור נקודות הקושי והסיבות לקשיים אלה (קוגניטיבית, אפקטיבית, גופנית, סביבתית). מכאן, שהערכה הינה איכותנית, ומאפשרת מעקב אחר התהליך בו עובר התלמיד בדרכו אל התוצר הלימודי.

הערכה רב-מימדית מטרת לתת ביטוי למגוון ביצועים, יכולות ואינטליגנציות של תלמידים, שחלקם כלל אינם באים לידי ביטוי במבחנים מסורתיים.

דיון

כלים להערכת הלימוד בסביבת

פרויקט טכנולוגי

כפי שראינו, בחינת הלימוד סביב הפרויקט הטכנולוגי כוללת ממספר היבטים. הראשון הוא היבט סוגי הידע שהתלמיד רכש במהלך הלימוד סביב פרויקט, השני הוא היבט רמת המורכבות של הפרויקט ומתן מענה לרמת פתרון הבעיות, והיבט השלישי הוא תיעוד תהליך הלמידה.

הערכת סוגי הידע

הספרות מזהה ארבעה סוגי "ידע" בלימודי הטכנולוגיה: ידע הצהרתי, ידע הליכני, ידע מושגי וידע איכותי. בפסקה זו נראה כיצד ארבעת סוגי הידע באים לידי ביטוי בדרכי הערכה של לימוד סביב פרויקטים טכנולוגיים.

כנזכר לעיל ידע איכותי נמצא בין הידע ההליכני לידע המושגי. זהו אותו ידע הכולל הבנה או הערכת תופעה ספציפית במערכת בלי להסתמך בהכרח על ידע הליכני, כלומר בלי להיעזר במשוואות מתמטיות או מונחים פיזיקאליים מדויקים. דה וירס (De Vries, 2005) טוען שקיים ידע איכותי מיוחד לתחום הטכנולוגי שבו בעל המקצוע יודע כיצד לבצע דבר מסוים אך אינו יכול לבטא זאת במילים. לדוגמה, בעל מקצוע כמו נגר, טבח, או מכונאי "יודע ש..." או "מרגיש" איך לעשות דברים, אך אינו יכול לבטא זאת במילים. לכן, יש צורך לברר האם גם תלמידים המפתחים פרויקט בטכנולוגיה חשים שהם לומדים דרך הפרויקט דברים שאינם יכולים להסבירם בתיאוריה. לדוגמה, בפרויקט טכנולוגי תלמיד פתור בעיות טכניות הן בתוכנה והן בחומרה ללא

חישובים. כלומר, התלמיד משתמש בידע איכותי. לכן, על ההערכה להיות להתבצע באמצעות ראיון במטרה לאתר את הידע האיכותי בעבודה המעשית.

הערכת רמת המורכבות של הפרויקט

כזכור, תלמידים הלומדים והמתנסים במעבדה, נתקלים בבעיות מעשיות ונדרשים לתת מענה לבעיות טכנולוגיות. ניתן לבנות סולם רמת הקושי של הבעיות הטכנולוגיות על פי טקסונומיה לפתרון בעיות - Problem Solution Taxonomy על פי הסולם של פלנטס ועמיתים (Plants et al, 1980).

כנאמר בסקירה, בסולם PST קיימות חמש דרגות לסיווג בעיות בהקשר לטכנולוגיה והנדסה. ברק ושחר (Barak and Shachar, 2008) פיתחו שאלון הערכה שמתחשב בידע קודם. כלומר, כאשר תלמיד פתר בעיה שלראשונה היתה ברמת קושי גבוהה, ופותר אותה שוב או פותר בעיה אחרת המורכבת מאותם אלמנטים, דרגת הקושי של הבעיה המאוחרת יותר תהיה נמוכה יותר.

הערכת תהליך הלמידה סביב פרויקט טכנולוגי

בלמידה בצוותי פרויקט טכנולוגי קיימת חשיבות רבה למיומנויות של חשיבה טכנולוגית, תכנון הדגם, תכנות הבקרה, בניית הדגם, סרטוט, חישובים חשמליים, חישובים הנדסיים, איסוף מידע לסקירה טכנולוגית ועוד. כלומר, הערכת תהליך הלמידה של תלמיד העוסק בפרויקט טכנולוגי הופכת להיות דבר מורכב. קיימות מספר דרכים להערכת תהליך הלמידה סביב פרויקט טכנולוגי, שהעיקרית בהן היא תיעוד. בספרות מוצעות מספר

שיטות לתיעוד פרויקטים בכלל ופרויקטים טכנולוגיים בפרט:

כתיבת חוברת

כתיבת חוברת פרויקט מהווה מרכיב חשוב בהכנת הפרויקט. קיימות שלוש צורות עיקריות של כתיבת חוברת פרויקט המקובלות עבור פרויקטים בטכנולוגיה, ולכל אחת מטרה שונה:

הראשונה, כתיבת חוברת הוראות והנחיות שימוש למערכת. מטרתה של החוברת להנחות את מפעיל המערכת כיצד לתפעל את המערכת בצורה נכונה.

השנייה, כתיבת חוברת המתארת את מבנה המערכת, את עקרון פעולתה ואת אפשרויות השימוש בה.

השלישית, בניית תיק פורטפוליו המתעד את כל שלבי פיתוח המערכת, כולל קשיים ופתרונות לבעיות. המטרה העיקרית של תיק פורטפוליו היא לתת לתלמיד אפשרות לבצע רפלקציה על עבודתו, כמפורט להלן.

פורטפוליו

המושג פורטפוליו צמח מעולם האומנות שבו האומן היה מגיע עם תיק יצירותיו בכדי לשווק את מרכולתו (Paulson, 1991). תיק עבודות זה מיושם כשיטה להערכה חלופיות, שמטרתה לטפח אצל הלומד מגוון כשירויות קוגניטיביות ואישיות גבוהות.

פורטפוליו נועד לתעד את תהליך הלמידה שהתלמיד עובר, להראות כיצד הוא חושב, אילו שאלות הוא מעלה, מהן המשימות שהוא מציב לעצמו וכיצד הוא מתמודד איתן. פורטפוליו אמור להראות כיצד התלמיד מתקשר עם אחרים מבחינה אינטלקטואלית וחברתית (Wolf, 1989). הפורטפוליו יכול לכלול למשל הצגת שאלת מחקר או פרויקט שהתלמיד עסק בהם, טיוטות של עבודתו, סיכומים עצמיים,

ממצאי איסוף מידע או ניסוי, סיכומי ביניים ומסקנות סופיות. דרך ההצגה יכולה להיות, למשל, חומר כתוב, תמונות, תוכניות מחשב, ופריטי אודיו ווידאו.

קולינס (Collins, 1991) זיהה מספר מאפיינים של פורטפוליו:

1. מגוון- התיק מכיל מגוון פריטים עניינים;
2. מקוריות - לכל תלמיד פריטים שונים בתיק;
3. דינאמיות - התיק משקף תהליך התפתחותי;
4. מבנה ברור - תוכן התיק מוסכם מראש;
5. בעלות - התיק שייך ללומד ומנוהל על ידו;
6. שימושיות - ישנה הסכמה מראש על מטרת התיק ואופן השימוש בו;
7. רפלקציה של הלומד על התהליך בו הוא מתנסה, דרך התבוננות על החשיבה והלמידה, מתוך רצון ללמוד מטעויות, להתפתח ולהשתפר.

מצד המורה, הפורטפוליו משמש ככלי המסייע לשנות את מתווה תכנית ההוראה על פי דפי המשוב שיתקבלו מן הלומדים בתום כל תקופה (רבעון, חצי סמסטר, סמסטר) ובו מתייחסים הלומדים להיבטים בתהליך הלמידה: מה למדו? מה אהבו? האם התעוררו קשיים במהלך הלמידה? ושאלות חדשות שהתעוררו בעקבות הלמידה. דפים אלה, המהווים חלק מתהליך הבנייה של הפורטפוליו, מאפשרים ללומדים לבחון את תהליך הלמידה שלהם ולשאול שאלות הרחבה. הפורטפוליו עשוי לספק למורה מידע שוטף מהתלמידים על מידת ההבניה של הנלמד, קשיים שהתעוררו בהבנת הנושא ועל תחומי עניין נוספים שיש ללומדים. בעקבות ניתוח מידע זה, המורה עשוי לשנות את מהלכי ההוראה המתוכננים מראש ולהתאימם לצורכי הלומדים בזמן אמת.

חוברת הפרויקט אמורה לשמש תוצר להערכה של כל תהליך הלמידה על מירב גווניו. כתיבת הפורטפוליו מצריכה את לימוד התהליך. פורטפוליו מועיל ללומד ולמורה המנחה את הלמידה סביב פרויקט בטכנולוגיה.

מצד הלומד, הפורטפוליו משמש ככלי ידידותי ואישי, הנתון תחת אחריותו ושליטתו הבלעדית של הלומד. זהו כלי המלווה את תהליך הלמידה לאורך זמן ואשר באמצעותו הלומד יכול ללמוד על תהליך הלמידה של עצמו ולהכיר את עצמו תוך זיהוי של תחומי עניין אישיים, העדפות, דרכי למידה, חשיבה, התמודדות עם קשיים והצלחות. הפורטפוליו גם נתפס ככלי שבסיועו יכול הלומד לנהל שיח אישי או דו-שיח עם המורה על למידתו.

מרטפוליו אלקטרוני

אחד מחידושי הטכנולוגיה הינו תיעוד אלקטרוני. אין כאן המקום להרחיב על משמעותו הפדגוגית לטוב או לרע של הפורטפוליו האלקטרוני. לצורך העניין נתמקד ביתרונות המתמקדים בתיעוד התהליך ולא התוצר.

- משמש במה לשיווק התוצרים.
- ניתן להציג את התיעוד על כל מחשב.
- קרוב לעולמו של התלמיד.
- תורם לאיכות הסביבה.

היות והפורטפוליו מתאר תהליך והתהליך אמור להיות אוטנטי, התלמיד יכול גם לצלם את הפרויקט במהלך הבניה ולכלול צילומי וידאו של המדידה/הפעלה של המוצר, מדידות ולהוסיף הסברים כפי שניתן לראות באיור 1. בצורה זו, המעריך מעריך את העבודה גם כאשר בזמן הבחינה המוצר לא פועל למרות שפעל לפני כן.



צילום מצב/מיקום בוררי משקף האותות

צילום האות על מסך משקף האותות

חישוב התנופה והתדר של האות

איור 1: צילום עמוד מאתר התיעוד של פרויקט "משדר מקלט IR" שבו התלמיד חישב את תנופת האות והתדר

התיאורטיים לאורך כל תהליך הבניה של הפרויקט, ובכך המורה יכול להעריך את כל התהליך הלימודי ולא רק את התוצר הסופי שהתלמיד בנה

סיכום

מהסקירה עולה שלימוד סביב פרויקט בטכנולוגיה עשוי לשמש מסגרת טבעית ליישום הגישה הקונסטרוקטיבית המשקפת את ההנחה שלמידה מתרחשת בתהליך שבו הלומד מְבִינה ידע באופן אקטיבי ע"י בנית תוצר אמיתי, תוך התמודדות עם מספר משימות המבוססות על שאלות מחקר או בעיות, ושיתוף התלמידים בפתרון בעיות, בתהליכי קבלת החלטות.

במאמר זה הוצגו פרמטרים בערכה חלופיות לתהליך למידה סביב פרויקט טכנולוגי. למרות שכיום בפועל, מטעמי תקציב, הערכה היא הערכה מסכמת בסוף התהליך, קיים ניסיון לכלול הערכה מעצבת על מנת להעריך את התקדמות התלמידים לאורך ביצוע הפרויקט בד בבד עם הערכה מאבחנת, שמטרתה לאבחן קשיים לאורך הדרך ולתקן בזמן אמת.

באיור 1 מצולם עמוד מהאתר התיעוד שבו התלמיד חישב את מתח התנופה והתדר של האות החשמלי, כמו כן התלמיד צילם את האות על משקף האותות ואת בוררי המשקף אותות. חישוב בעזרת נוסחאות באופן מובנה מאפיין את השימוש בידע הליכי.

מסקנות

מהמאמר הנוכחי, שדן בהערכה של לימוד סביב פרויקט טכנולוגי עולות המסקנות הבאות.

על מורה בחינוך הטכנולוגי:

1. להכיר את סוגי הידע ולתכנן בהתאם את דרך ההוראה;

2. להכיר את סולם PST ולזהות את הפעילות שהתלמיד מבצע בהתחשב בניסיונו הקודם של התלמיד;

3. להיחשף לדרכי הערכה חלופיים לאורך כל תהליך הלימודי לדוגמה שימוש בפורטפוליו שבו התלמיד יכול לתעד את דרך העבודה על הפרויקט כולל צילומים של תוצאות אמיתיות ממכשירי מדידה על מנת להשוות בין התוצאות המעשיות לחישובים

מקורות

- הרפז, י' (2005). חכה, פיתיון ודגים, גישות לחינוך וחשיבה. ירושלים: ברנקו וייס.
- וקס, ש' (1996). חינוך וטכנולוגיה – ממדים והשלכות (נייר עמדה). חיפה: המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים, הטכניון.
- זילברשטיין, מ' (1992). הערכה כמרכיב מרכזי בתכנון הלימודים ובהוראה. מ' זילברשטיין (עורך), הערכה בתכנון לימודים ובהוראה: פרספקטיבה של המורה. ירושלים: משרד החינוך והתרבות, האגף לתוכניות לימודים.
- תומר י' (1990). הערכת רכישה של ידע הצהרתי דידקטי ודיסציפלינארי בהכשרת מורים, חיבור לשם קבלת תואר דוקטור לפילוסופיה, ירושלים: האוניברסיטה העברית.
- Barak, M., & Mesika, P. (2007). Teaching methods for inventive problem solving in junior high school. *Thinking Skills and Creativity*, 2(1) 19-29.
- Barak, M. & Shacahr, A. (2008). Projects in Technology Education and Fostering Learning: The Potential and Its Realization. *Journal of Science Education and Technology*, 17(3) 285-296.
- Ben-Hur, M. (2006) *Concept-Rich Mathematics Instruction: Building a Strong Foundation for Reasoning and Problem Solving*. Alexandria VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Berenson, S. B. & Carter, G.S. (1995). Changing assessment practices in science and mathematics. *School Science and Mathematics*, 95(4), 182-185.
- Collins, A. (1992). Portfolio for science education: issues in purpose, structure and Authenticity. *Science Education*, 76 (4), 451-463.
- De Vries, M. J. (1997). Science, technology and society: A methodological perspective. *International Journal of Technology and Design Education*, 7, 21-32.
- De Vries, M. J. (2005). *Teaching about technology: an Introduction to Philosophy of Technology for None-Philosophers*. Dordrecht: Springer.
- Dewey, J.D (1910), *How We Think*. Boston: D.C. Heath.
- Dreyfus, H. L. & Dreyfus, S. E. (1986). *Mind over Machine: the Power of Human Intuition and Expertise in the Era of the Computer*. Oxford: Basil Blackwell.
- Hoepfl, M. C. (1997). Choosing qualitative research: a primer for technology education researchers. *Journal of Technology Education* 9(1), 47-63.
- Johnson, S. D. (1997). Learning technological concepts and developing intellectual skills, *International Journal of Technology and Design Education*, 7(1), 161-180.

- McCormick, R. (1997). Conceptual and procedural knowledge education. *International Journal of Technology and Design Education* 7(1-2), 141-159.
- McCormick, R. (2004). Issues of learning and knowledge in technology education. *International Journal of Technology and Design Education*, 14(24), 21- 44.
- Paulson, F.L. & Paulson, P.R. (1991). The ins and outs of using portfolio to assess performance. A paper presented at the joint annual meeting of the national council meeting of measurement in education, Chicago. Eric Document Reproduction Service No. (ED 334250).
- Plants, H. L., Dean, R. K., Sears, J.T. & Venable, W.S. (1980). Taxonomy of problem solving activities and its implication for teaching. In: J. L. Lubking (Ed.). *The Teaching of Elementary Problem Solving in Engineering and Related Fields* (pp. 21-34). Washington, DC: ASEE Press.
- Polya, G. (1945). *How to Solve It*. NJ: Princeton University Press.
- Rittle-Johnson, B. & Alibali, M.W. (1999). Conceptual and procedural knowledge of mathematics: Does one lead to the other? *Journal of Educational Psychology*, 91, 1-16.
- Salomon, G., Perkins, D. N. & Globerson, T. (1991). Partners in cognition: Extending human intelligence with intelligence technologies. *Educational Researcher*. 20(3), 2-9.
- Vincenti, W. G. (1990). *What Engineers Know and How They Know It*. Baltimore: John Hopkins Press.
- Waks, S. & Barak, M. (1988). Characterization of cognitive difficulty level of test items. *Research in Science and Technological Education*, 6(2), 181-192

הרציונל והכללים של פיתוח פרויקטים במקצוע טכנולוגיה מוכללת במגמה המדעית טכנולוגית

ראובן דינוביץ, מורה ומנחה פרויקטים במגמה. ראובן ששון, מנחה פרויקטים במגמה המדעית טכנולוגית

לפרויקטים. בכתות יא' ו-יב' התלמידים מתחלקים לצוותים, מגבשים הצעה לפרויקט, וממשיים פתרון (בדרך כלל אב טיפוס) לצורך שהעלו (קיפרמן ודינוביץ, 2006).

התלמידים נדרשים ללמידה עצמית ולהתמדה בביצוע הפרויקט ויכולים להביא לידי ביטוי ראייה חברתית, עבודת צוות, מנהיגות, חריצות, העמקה, יוזמה, יצירתיות וחדשנות. כמו-כן, ביצוע הפרויקט מזמן לתלמידים מקור לסיפוק אישי ועליה בתחושת הערך העצמי.

במאמר זה יסקרו העקרונות והכללים על פיהם מפותחים פרויקטים בטכנולוגיה מוכללת.

הפרויקטים בטכנולוגיה מוכללת

הפרויקטים במגמה המדעית טכנולוגית מתאפיינים במספר מרכיבים:

א. מרכיב חברתי - הפרויקט בא לענות על צורך של אדם או של הכלל לשיפור סביבתי או שיפור איכות החיים באמצעות מוצר מדעי טכנולוגי. לדוגמה: ברמת הכלל - חיסכון במים ואנרגיה, טיפול במים, וברמת הפרט - עזרה לנכים, מכשור רפואי.

ב. מרכיב מדעי - הפרויקט מסתמך על עקרון מדעי מוכח או שניתן להוכיח אותו.

הקדמה

בות נאמר ונכתב על שילוב פרויקטים בהוראה ולמידה דרך פרויקטים. העבודה על פרויקטים טכנולוגיים אמורה לתת לתלמידים אפשרות ליישם בפרויקט את התכנים שלמדו כמבצע יחידים או כחלק מצוות. המוטיבציה ואיכות התוצרים גדלים כאשר מאפשרים לתלמידים בחירה עצמאית של נושא, מציאת הדרכים למימוש, ויישום הפתרון הנבחר על אב טיפוס. בצורה זו, התלמידים חשים שזה הפרויקט שלהם ולכל תלמיד/ה מתאפשרים ביטוי עצמי, חשיבה מקורית ויצירתיות (מיודוסר, 2008).

הלימודים במגמה המדעית טכנולוגית מורכבים ממקצוע מדעי: פיזיקה או כימיה או ביולוגיה, מקצוע מוביל ממדעי ההנדסה ומקצוע ההתמחות טכנולוגיה מוכללת שבמסגרתו מפותח פרויקט גמר. במאמרו של פרשטמן (2008) נסקר הרציונל של המגמה יחד עם העקרונות והתכנים הנלמדים במגמה. פרויקט הגמר במגמה משתלב ברציונל זה ומשלב עקרונות של למידה עצמית ועבודת צוות, קהילת לומדים וראיה רחבה ומערכתית.

כל תלמיד במגמה לומד במקביל ללימודים העיוניים במדעי ההנדסה, תכנים טכנולוגיים הנדסיים שמתחילים ב"איך צורך הופך לרעיון למוצר טכנולוגי?" ובהמשך חשיבה על רעיונות

ג. מרכיב טכנולוגי – העיקרון המדעי יחד עם הצורך החברתי ממומשים באב טיפוס טכנולוגי.

הפרויקטים נדרשים להציע פתרון מדעי טכנולוגי חדשני למצב קיים. במידה וקיימת מערכת המציעה פתרון לבעיה שהועלתה, יש להראות במה הפתרון המוצע מהווה שיפור למערכת הקיימת.

התלמידים עובדים בצוותים של 3-5 תלמידים. התלמידים מביאים את הרעיונות לפרויקטים והם אלו שמחפשים ומעלים את הרעיונות לפתרון הבעיה שמעלה הפרויקט וממנו בוחרים את הפתרון המוביל בו יממשו את האב טיפוס.

בכדי לגבש הצעה לפרויקט מתבקשים התלמידים לבדוק בסביבתם אם יש בעיה, ליקוי או חוסר שיהווה רעיון לפרויקט. בשלב זה מתגבשים הצוותים, חלקם סביב רעיון לפרויקט וחלקם בוחרים את הפרויקט כקבוצה.

הרעיונות לפרויקטים וגיבוש הפתרונות נתונים בידי התלמידים. בדרך כלל אין המנחה יודע בתחילת הפרויקט כיצד ולאן יתפתח הפרויקט. מצב זה הינו קרקע נוחה המאפשרת העלאת רעיונות חדשים, חופש חשיבה ויצירתיות שעשויים להוביל לפתרונות מוצלחים ומקוריים לפתרון הבעיה. הנחית פרויקטים בתנאים אלו של אי ודאות הינה ללא ספק קשה ומאתגרת למנחה ולתלמידים.

תפקיד המנחה

מנחי הפרויקטים הם בדרך כלל מורים במגמה המכירים את התלמידים ואת התכנים במדעי ההנדסה.

תפקיד המנחה אינו לספק פתרונות אלא ללוות את ביצוע הפרויקט, לכוון את התלמידים כיצד למצוא מידע, ולייעץ במציאת הדרכים לקדום הפרויקט. הנחיה זו מעודדת תלמידים לחשיבה, לחדשנות וליצירתיות ומכוונת למציאת פתרון אפשרי. לכל אורך הדרך התלמידים עובדים כצוות כאשר לכל אחד מטלות ותחומי אחריות אישיים. התלמידים הם שמעלים את הרעיונות ואת הדרכים למימוש, המנחה מכוון את התלמידים כיצד לבחון את הרעיונות, כיצד ניתן למצוא מידע על רכיבים, מעמיד לרשותם סביבה מתאימה ועוזר ביצירת קשר עם יועצים לפי הצורך.

לפי הגדרת תפקיד זו מתאפשרת הנחיה גם כאשר המנחה נדרש להנחות פרויקטים הכוללים מגוון רחב של נושאים, הכוללים גם נושאים שאינם בתחום הידע שלו, ופרויקטים שבהם שלבי המחקר והפיתוח אינם ברורים ונהירים בשלב הראשוני.

הנחיה זו אינה פשוטה מכיוון שעל המורים להתגבר על נטיתם הטבעית לכוון את התלמיד לפרויקטים אשר הם בטוחים מראש בהצלחתם או שידעו לתת את הפתרונות הנדרשים במהלך הפיתוח. במקרים בהם הפתרון מוכר או ברור למנחה הוא נוטה לכוונם לפתרון זה אשר בסופו של דבר אינו תמיד הפתרון הטוב ביותר האפשרי. במקרים אלו התלמידים אינם נדרשים לגלות יצירתיות ומקוריות ואין תהליך אמיתי של בדיקת חלופות.

שלבי הפרויקט

א. גיבוש צוותים

1. זהו שלב ראשוני שבו התלמידים מתבקשים

1. מה הצורך בפרויקט? למי הפרויקט עוזר?
2. האם הרעיון המדעי טכנולוגי שעומד בבסיס הפרויקט מוכח?
3. האם הרעיון ניתן למימוש במסגרת הבית ספרית?
4. האם נדרש ליצור קשר עם מומחה לנושא?

ג. הכנת הצעת הפרויקט

1. על הפרויקט להתאים בהיקפו לגודל קבוצת התלמידים המגישה את ההצעה.
2. על הפרויקט לכלול במידה כזו או אחרת את מגוון המקצועות שנלמדו במגמה.
3. על הפרויקט לחקור ולבדוק את כל ההיבטים הנובעים מכיוון הפיתוח והמחקר, גם אם חלק מהתחומים אינם מובנים מאליהם לתלמידים. על חלק מהבדיקות להתבצע לפני הגשת ההצעה לאישור הפרויקט, כיוון שהינם תנאי ראשוני לכדאיות הפיתוח.
4. על ההצעה לכלול רשימת נושאים שלדעת הצוות נדרש ללמוד כדי לבצע את הפרויקט. חלק מהנושאים המהווים תשתית ידע לפרויקט יסקרו בהצעת הפרויקט.

- להתחלק לקבוצות, בכל קבוצה בין 3 ל- 5 תלמידים.
2. לתלמידים מובהר שכל קבוצה תתפקד כצוות מחקר ופתוח, בו כל פרט בקבוצה יהיה אחראי על תחומים בהם הוא טוב יותר או יוכל להגיע למיצוי טוב יותר.
3. המפגשים בין חברי הצוות מתקיימים על בסיס שבועי בהם הם מחליפים ביניהם מידע ויחליטו על כיוונים בפיתוח.
4. על המידע לזרום בין חברי הצוות כיוון שתוצאות המחקר של האחד הם תנאי ההתחלה של השני.
5. התלמידים בוחרים את חברי הצוות ואין כופים עליהם חבר צוות שאינו מקובל עליהם. כמו-כן התלמידים בוחרים את ראש הצוות.

ב. מציאת רעיונות לפרויקטים

- בשלב ראשון התלמידים מונחים לחפש בסביבתם הקרובה או הרחוקה, מפגע או בעיה להם הם רוצים למצא פתרון מדעי טכנולוגי.
- התלמידים מעלים את הצעותיהם לפרויקטים. בדרך כלל המנחה אינו מעלה נושאים לפרויקטים אלא מבקש מהתלמידים להעלות רעיונות. תפקיד המנחה בשלב זה הוא לכוון את התלמידים לבחינת הצעות הפרויקטים. שאלות שעולות בשלב זה הם:

לומד לימוד עצמי ומביא לידיעת הצוות את ממצאיו.

ה. העלאת רעיונות אפשריים למימוש הפרויקט

זהו שלב סיעור מוחות בו כל חברי הצוות, שנחשף לכל המידע שנאסף על הבעיה שהפרויקט בא לפתור ולפתרונות המדעיים והטכנולוגיים הקיימים לבעיה או לבעיות דומות, מעלים רעיונות, דנים ומנסים לגבש פתרונות אפשריים לבעיה.

ו. בחירת הפתרון המוביל

ברוב המקרים קיימת יותר מאפשרות אחת למימוש הרעיון ועל הצוות לבדוק מספר חלופות ולהחליט לבסוף על החלופה המתאימה ביותר לפי דעת הצוות.

בשלב זה מתבצעת קביעת התצורה הסופית של הפתרון.

מתבצע עדכון של תכנית העבודה וחלוקת המשימות בכדי להתאימה לפתרון שנבחר.

ז. עבודה על מימוש הפתרון המוביל - תכנון תתי המערכות וניסויים

כל תלמיד בצוות אחראי על פיתוח תת מערכת שהינה מרכיב בפתרון או בתהליך. לדוגמא: תלמיד אחד יכול להיות אחראי על פתוח מעגל אלקטרוני. תלמיד אחר אחראי על הפרמטרים הנמדדים שיהיו הקלט למעגל ואחר יכתוב את התוכנה שתעבד את המידע.

5. על התלמידים להגיש כל רעיון או הצעה בכתב בהתאם לכללים ברורים ומוגדרים מראש.

6. על ההצעה לכלול את תיאור המערכת, המהווה סקירת תכונות שעל המערכת הסופית לכלול.

7. על ההצעה לכלול תיאור כללי של הפתרון - כיצד ימומש הרעיון.

8. יש לפרט את משימות הפרויקט ולחלקן בין חברי הצוות כאשר לכל חבר צוות מוקצים משימות ותחומי אחריות אישיים.

ד. הכנת סקר ספרות

סקר הספרות הוא השלב בו הצוות לומד לעומק את הבעיה שהועלתה. הבעיה נסקרת מהיבטים שונים: חברתי, כלכלי, מדעי וטכנולוגי.

נסקר המצב הנוכחי ונסקרים הפתרונות הקיימים בסקירה ביקורתית.

חשיבות סקר הספרות בכך שהיא מרחיבה את תשתית הידע של הצוות על ההבטים שונים של הפרויקט: חברתי, מדעי טכנולוגי. הצוות, שהגדיר בשלב קודם את הנושאים עליהם יבוצע סקר הספרות, לומד על הנושאים השונים הכלולים בפרויקט, כאשר כל חבר צוות

בשלב זה מתבצע תכנון, מימוש ובדיקה של תתי המערכות.

התכנון מתבצע בהתחשב בהגדרת הפתרון שנעשתה בשלב קודם ובממשקים בין המערכות השונות. דוגמא לממשקים: מכניקה-אלקטרוניקה, אלקטרוניקה-אלגוריתמיקה, אלגוריתמיקה-אלקטרוניקה, אלקטרוניקה-מכניקה.

בשלב זה כל מערכת מתוכננת בצורה עצמאית, נבנית ונבדקת בנפרד תוך עדכון הדדי של הצוות בהתקדמות ובהתייעצות בשאלות ובעיות שעולות תוך כדי עבודה.

ח. הרכבת תתי המערכות, בדיקתם והפעלתם במערכת אב הטיפוס

בשלב זה נבדקים תתי המערכות יחד, ונבדקת פעולת הממשקים שלאחריה מורכב הדגם ומופעל בתצורתו הסופית.

ט. סיום כתיבת החוברת

חוברת הפרויקט הסופית של צוות הפרויקט מייצגת את שלבי הפיתוח של הפרויקט והדרך שאליה הגיע הצוות אל הפתרון והמוצר הסופי, כולל הנושאים ותחומי הידע שאותם הצוות לא הכיר בתחילת הדרך והגיע אליהם בתהליך של למידה עצמית.

חוברת הפרויקט נבנית תוך כדי עבודה על שלבי הפרויקט. בכל שלב מתבצע תיעוד של המידע שנאסף, תיעוד של שלבי התכנון, הניסויים, הבדיקות והתוצאות.

בסיום הפרויקט מתבצעת סקירה של החומר שהצטבר ומתבצעת עריכה סופית של החוברת.

י. מבחן ההגנה הסופי

מבחן ההגנה הסופי הינו מבחן קבוצתי שבו הציון לכל תלמיד הוא אישי. מעמד הבחינה מתבצע בפני שני בוחנים היכולים לכסות את מגוון תחומי הידע כפי שלרוב משתקפים בפרויקט במקצוע טכנולוגיה מוכללת שהינו פרויקט רב תחומי.

כל תלמיד נדרש להוכיח בקיאות במכלול הפרויקט ובקיאות עמוקה במשימותיו ובתחומי הפרויקט שבאחריותו.

לתלמידים מוקצה זמן לסקור את הפרויקט על כל מרכיביו, להסביר את עקרונות פעולת המערכת ותתי מערכות ולהדגים את פעולת המערכת.

סיכום

בכתבה זו נסקרו הרציונל של ביצוע פרויקט במגמה המדעית טכנולוגית והכללים ודרכי העבודה לביצוע הפרויקט. הדרכת המורים והכשרתם להנחיית פרויקטים, יחד עם ההטמעה של הכללים ושיטות העבודה למורים החדשים, מתבצעת על ידי צוות המדריכים של המגמה. בשנים האחרונות קיימת עליה מתמדת ברמת הפרויקטים הבאה לידי ביטוי בתוצרים ובדגמים הזוכים לשבחים בפורומים השונים בהם הם מוצגים.

מקורות

מיודוסר ד.ד., (2008) *טכנולוגיה וחשיבה טכנולוגית: תפיסה ויצירת הסביבה המלאכותית*, כתב העת מורטק, יוני 2008, גליון 1 עמודים 18-22.

פרשטמן מ., (2008) *המגמה המדעית-טכנולוגית (מדעית הנדסית) גישה חדשנית להוראת מקצועות הטכנולוגיה והמדע*, כתב העת מור-טק, יוני 2008, גליון 1, עמודים 29-34.

קיפרמן ד. ודינוביץ ר., (2006) *מדריך לעבודת גמר בטכנולוגיה מוכללת*, הוצאת הספרים – אורט ישראל, 2006.

רשמים מהכנס הארצי של מורי מכונות

עודד רייכספלד, חבר צוות הפיקוח של מגמת מכונות וחבר צוות מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים "מורטק"

ידוע שבחינות הבגרות משמשות מעין תורה שבעל פה להגדרת הדגשים של תוכנית הלימודים הכתובה. במפגשים אלו נידונו גם סוגיות העוסקות בדמות בוגרי המגמה שהיינו רוצים לראות ודרכים להשגתה.

המסקנה העיקרית של הדיון הייתה שהדרך הטובה לעצב בוגרים מיטביים היא לאפשר למרכז/ת המגמה בבית הספר ליישם את תפיסת עולמו/ה האישית, ההומנית והטכנולוגית, בחינוך התלמידים מופקד בבית ספר/ה. כל זאת באמצעות יצירת סביבת לימוד בהתאם לרציונל ומטרות העל שמציב הפיקוח. מעבר להתוויית החזון החינוכי, הרציונל, מטרות העל, ומושגי הליבה, תפקיד הפיקוח הוא לסייע למורים להגשים את תפיסת עולמם. הוסכם על באי הכנס שאחת הדרכים הטובות ביותר להשגת מטרות אלו היא ביסוס הקשר בין המורים לפיקוח על אופן הדדי.

לאחר הפסקת קפה וכיבוד קל, התכנסו כל מורי המגמה באודיטוריום בו הציג מפמ"ר מכונות את תפיסת עולמו לגבי עתיד המגמה. הוצגו כיוונים חדשים, כמו למשל, התמחות אוטו-טק, האמורה להכשיר בוגרים לעיסוק בענף הרכב המשווע לכוח אדם מקצועי ומיומן שיוכל להתמודד בהצלחה עם המערכות המתקדמות המותקנות בכלי הרכב החדשים הנעים בכבישינו.

כמו כן, הוצג הצורך בקיום התמחות "תחזוקת מערכות הנדסיות" שמטרתה לאפשר לתלמידים בעלי הישגים נמוכים יחסית ללמוד תחומי עניין מגוונים ורבים ולהמשיך ללמוד לתואר טכנאי והנדסאי.

במסגרת מרכז המורים מורטק ובשיתוף פעולה עם המפמ"ר למגמת מכונות ד"ר ירון דופלט, התקיים ב- 21.2.2012, חודש שבט תשע"ב, כנס ארצי של מורי מגמת מכונות בבית הספר "הדסה נעורים".

מטרתו העיקרית של הכנס הייתה להפגיש את מורי ומורות המגמה מרחבי הארץ, לאפשר שיתוף ידע, לדון בנושאים שונים הקשורים לניהול המגמה ולהודות למורים מובילים במגמה.

בכנס התקיימו מספר מושבים שכל אחד מהם עסק בתחומים שהוגדו מראש על ידי הפיקוח על מגמת מכונות.

בחלק הראשון של הכנס נפגשו חברי מליאת הפיקוח המורחבת של המגמה, שכללה את הפיקוח, מרכזי ההתמחויות, המדריכים המטמיעים והבוחנים. בתחילת ישיבת הפתיחה הוצגו בידי אהרון שחר, מנהל מרכז המורים, יעדי פעולה ושיתוף בין מרכז המורים מורטק לבין מגמת מכונות. בהמשך הציג ד"ר ירון דופלט את יעדי מגמת מכונות לשנות הלימודים הקרובות והשינויים הנחוצים להשגת יעדים אלו.

בסיום ארוחת הצהריים התכנסו המורים במושבים נפרדים, כל אחד בתחום התמחות/ה. בכל מושב הוצגו השינויים במבנה בחינות הבגרות במגמה ובמיוחד בדרכי ההיבחנות והערכה בבחינות מעבדה, בע"פ ועל עבודות גמר ופרויקטים.



באי הכנס בשיחת הפתיחה עם מפמ"ר המגמה ד"ר ירון דופלט

למורים מחקרים אקדמיים חדשים הנוגעים לתחום הוראת המכונות. הרצאתו של פרופ' ורנר הייתה מרתקת, תמציתית ומעניינת.

- **סמדר וישניה** מורה מבית ספר הולץ ת"א, הציגה מיומנויות חדשות בתחום שנקרא עדיין סרטוט טכני, אך למעשה, סביבות התכן הנקראות עדיין "תוכנות סרטוט". הינן סביבת פיתוח וסביבת למידה מרתקת המאפשרת לימוד ופיתוח התלמידים. סביבות למידה מסוג זה נקראות כלי חשיבה "mindtool" והדגש בהן הוא לא על התוצר (השרטוט המוגמר) אלא גם על התהליך הקוגניטיבי שהוביל ליצירתו.

בסיום הכנס, שוב המורים התחלקו לקבוצות ובהן דנו בדגשים של תוכניות הלימודים בכל אחת מהמגמות וההתמחויות.

בתום דברי המפמ"ר הוצגו בפני באי הכנס הרצאות בתחומי דעת שונים:

- **שמואל כהן**, מורה ותיק במגמה ממקיף אנה פרנק סאסא, הציג כיצד ניתן להשתמש בלוח חכם בהוראת נושאים מתחומי הדעת של מכונות. הרצאתו שולבה בדוגמאות שהוצגו על לוח חכם שהובא במיוחד למפגש המורים.
- **דו"ר ירון דופלט** מפמ"ר המגמה הציג שינויים מרחיקי הלכת שחלו באתר המגמה בכתובת <http://yeda.amalnet.k12.il/Engi.neeringSystem> בעבודה מאד מאומצת הפך אתר זה ממאגר מידע ולוח מודעות של המגמה לפורטל תוכן המתעדכן כמעט מדי יום ומציג בפני המורים מידע רלוונטי לעשייה היום יומית.
- **פרופ' איגור ורנר**, מהמחלקה להוראת המדעים בטכניון, הציג

רשמים מימי העיון למורי מגמת הנדסת אלקטרוניקה וחשמל שנערכו במהלך שנה"ל תשע"ב

די"ר שלום עזריאל חבר צוות הפיקוח של מגמת אלקטרוניקה וחשמל

המפמ"ר הצהיר על כוונתו להעביר משוב למנהלי בתי הספר שנתוני התוצאות במוסדותיהם יצביעו על בעיה במערך ההוראה. מצד שני המפמ"ר הצהיר שיועברו גם משובים חיוביים למנהלי בתי הספר שנתוני הבגרות יצביעו על הישגים גבוהים.

• הכנסת הנחיות חדשות בנושא

מדידות - המפקחים ראובן כלב ופליציה קלרמן שיתפו את המורים בהנחיות החדשות המתגבשות בצוות הפיקוח והמתייחסות למטלות ביצועיות בנושא מדידות הנדרשות מהנבחן במעבדה ובעבודת גמר. ציבור המורים התבקש להעביר את התייחסותו בכתב.

• שיתופי פעולה בין הקהילה

האקדמית למורים הטכנולוגים- פרופ' איגור ורנר מהמחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים בטכניון שירטט את דרכי הפעולה ושיתופי פעולה האפשריים בין המורים בחינוך הטכנולוגי לבין האקדמיה.

• מקומו של מרכז מורטק כמרכז

מורים ארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים- אהרון שחר מנהל מורטק, עמד על

מורטק- מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים, בשיתוף יעקב שינבויס מפמ"ר מגמת אלקטרוניקה וחשמל ערכו שלושה ימי עיון למורי ומורות המגמה, מרכזי מגמה ולצוות הפיקוח של מגמת אלקטרוניקה וחשמל.

יום העיון למורי המרכז והדרום, התקיים בבית הספר הרב תחומי ב' בפתח תיקווה, יום העיון למורי הצפון התקיים במחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים בטכניון בחיפה ויום עיון נוסף התקיים במט"ח בתל אביב.

שלא למתוכנן, באי ימי העיון כיבדו בדקת דומיה את זכרו של אבי לוי ז"ל מחנד, מורה ומנחה פרויקטים לאלקטרוניקה שנפטר השנה במהלך טיול שנתי בנגב עם תלמידיו מבית הספר הולץ ת"א.

בהמשך ימי העיון קיבלו אופי חגיגי ובמסגרתם חולקו תעודות הוקרה למורים מצטיינים (ראה רשימה בהמשך).

בימי העיון הוצגו הנושאים הבאים:

• ניתוח מבחני הבגרות של מקצועות

מגמת אלקטרוניקה וחשמל- המפמ"ר סקר את תוצאות מבחני הבגרות במגמה בשנה"ל תשע"א. המפמ"ר ניתח נתוני האמת של הישגי הנבחנים בבחינות הבגרות בכל מקצועות המגמה ברמה הארצית וברמה המוסדית. בהמשך



מורי האלקטרוניקה והחשמל קשובים לאחת ההרצאות שניתנו במהלך יום העיון במחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים בטכניון

להוראת המדעים והטכנולוגיה באוניברסיטת בן גוריון סקר את תהליך ההטמעה של תוכנית קלייט (קידום לימוד טכנולוגי) חשיבה מסדר גבוה בלימוד סביב פרויקטים באלקטרוניקה.

לסיכום, משוחות המשוב עם המורים ניתן לומר שימי העיון הנוכחים יצרו אווירת שייכות לקהילת מורים בחינוך הטכנולוגי הזוכה להתייחסות חיובית תורמת ומעצימה מצד הממונים וממקבלי החלטות בתחום החינוך הטכנולוגי בישראל.

רשימת מורים מצטיינים במגמת אלקטרוניקה וחשמל לשנה"ל תשע"ב

- אבי חיון, תיכון מקיף ה' אשדוד
- אפרת דיל, תיכון מקיף ז' אשדוד
- דוד מור יוסף, תיכון אזורי הר וגיא
- דליה אמסלם, כפר הנוער גיר העמק
- יהודה שרפי, תיכון מקיף אורט רחובות
- כמאל דהאמשה, כפר הנוער כדורי
- מאמון אבו אלהיגא, מקיף פרדיס
- קולט מזמר-טוב, מתיכון רב תחומי ב' פ"ת

חשיבותו, מיקומו ותפקידיו של מרכז מורים ארצי למקצועות הטכנולוגיים-מדעיים בקהילת המורים הטכנולוגיים.

- **שיתופי פעולה בין בית הספר לחברת הייטק-** מרכזת מגמת אלקטרוניקה בתיכון רב תחומי ב' בפתח תיקווה, קולט מזמר-טוב הציגה את שיתוף הפעולה בין בית ספר לחברת EIM. (ראה מאמר בנושא)

- **שיתוף פעולה בין מט"ח לקהילת המורים לאלקטרוניקה וחשמל-** יקי דיין וצבי אזיה ממט"ח הציגו את האתר האינטרנטי החדש של מגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים ומגמת מערכות בקרה ואנרגיה שכולל מאגר תוכן ציבורי וגם תוכן סגור למורים. בנוסף יקי דיין הציג את פרויקט "כותר" שכולל ספרי חינוך טכנולוגי בפורמט דיגיטלי וללא תשלום.

- **סקירת תהליך ההטמעה של תוכנית קלייט-** פרופ' משה ברק ראש המחלקה

אודות "מורטק" - מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים

המרכז. ועדת ההיגוי מורכבת מאנשי מינהל החינוך הטכנולוגי בישראל, צמרת חוקרי החינוך הטכנולוגי בארץ, נציגי פקולטות הנדסיות במוסדות להשכלה גבוהה, נציגי מורים ומנהל המרכז. על פעילות וועדת ההיגוי ניתן לקרוא בגיליון זה.

הנהלת המרכז

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

פרופ' אורית חזן, ראש המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים בטכניון והיועצת האקדמית של המרכז

אהרון שחר, מנהל המרכז

סיוון ברקוביץ, מזכירת המרכז

חברי צוות מרכז המורים ונציגי המגמות

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

- אלקטרוניקה- הרמן גדי
- ביוטכנולוגיה - ניצן פנינה
- מכונות - רייכספלד עודד
- מדעית הנדסית - ששון ראובן

פעילויות המרכז כוללת

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

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

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

1. פיתוח מנהיגות;

2. העמקת ידע בתחומים דיסציפלינאריים ואינטרדיסציפלינאריים ושיטות הוראה מכוונות להבנת מושגים אלה;

3. הכרת השינויים והחידושים הטכנולוגיים העדכניים ופיתוח דרכים לשילובם בתוכנית הלימודים;

4. הכרת שיטות הוראה/הנחיית פרויקטים/למידה בהקשר לחינוך הטכנולוגי;

5. פיתוח חשיבה במגוון המקצועות הטכנולוגיים;

6. הפצת המיומנויות והתכנים של מורים מובילים לכלל המורים;

7. טיפוח מטרות וכיווני חשיבה נוספים למרכז באמצעות ועדת ההיגוי של המרכז, המכונסת פעמים בשנה לדון על מדיניות

אור-טק מרכז מורים ארצי למקצועות הטכנולוגיים



מוסד הסכנון לז"פ, המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים

שרה ח. המזכירות הפדגוגית, אגף לתכנון ופיתוח חכמות לשו"מ

מנהלת מל"מ המרכז לחינוך מדעי וטכנולוגי ע"ש עמוס דה שליט

דרכי התקשרות

טלפון: 04-8293146 פקס: 04-8295481

דואר אלקטרוני: moretech@technion.ac.il

כתובת

מורטק - מרכז מורים ארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים

המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים

קרית הטכניון

חיפה 32000

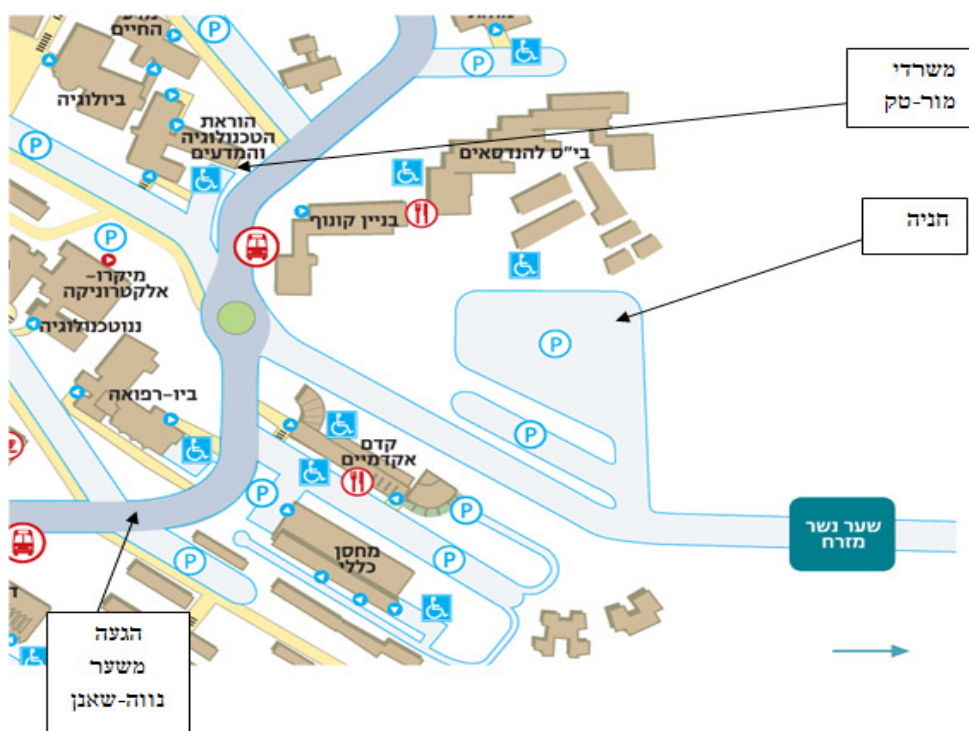
מיקום

קרית הטכניון,

המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים

קומה 3, חדר 315

מפת ההגעה והחניה למשרדי מרכז המורים למקצועות הטכנולוגיים מדעיים, מורטק במחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים בטכניון, חיפה





כתב העת מור-טק- הזמנת מאמרים (Call for papers)

על המאמר לכלול תקציר בן 25-75 מילים, סיכום קצר. יש להשתמש בפונט נרקיסיס, גודל 12 עם רווח 1.5 בין השורות. כתבים שמאמרם יתקבל יתבקשו לשלוח תמונה דיגיטלית.

את המאמר יש לשלוח אל אהרון שחר

בדוא"ל: ahrons@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
- eLearning בחינוך הטכנולוגי
- תחרויות, כנסים וסמינרים בארץ ובעולם
- סקירת ספרים ואינטרנט

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

- אלקטרוניקה
- ביוטכנולוגיה
- מדעית-טכנולוגית
- מכונות

קהל היעד של כתב העת הוא מורים 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 השולח יסדיר את עניין זכויות היוצרים.

על המאמרים להיות בהיקף של עד 1500 מילים. במקרים מיוחדים יתקבלו גם מאמרים של עד 3000 מילים. כל מאמר שישלח לפרסום יעבור שיפוט של העורך ושני רפרנטים.

משוב

לקוראי וקוראות מור-טק שלום,

אנא השיבו על שאלון משוב זה ושלחו אותו למור-טק - מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים. ניתן לשלוח את המשוב באמצעות דוא"ל moretech@technion.ac.il, פקס 04-8295481 או דואר לכתובת:

מורטק - מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים מדעיים
המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים בטכניון
קריית הטכניון
חיפה 32000

אנו מודים לכם על שיתוף הפעולה.

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

אנא סמנו X בעמודה המתאימה:

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

בגיליון זה מצאתי עניין בנושאים אלה:

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

הערות נוספות:
