

AJES Journal

כתב עת רב תחומי להנדסה ומדע

גליון 6 • תשפ"ה





אפקה - כתב עת להנדסה ומדע

גיליון שישי, תשפ"ה

Afeka Journal of Engineering and Science

Volume 6, 2025

ajes@afeka.ac.il

עורך ראשי: ד"ר קותי שוהם

עורך מדעי: ד"ר ירון כהן צמח

עורך לשוני: מר רן כהן

הופק ע"י מחלקת שיווק

אפקה המכללה האקדמית להנדסה בתל אביב

עיצוב העטיפה: יעל סגל

עימוד והבאה לדפוס: נילי אמיר-שגיא

אפקה - המכללה האקדמית להנדסה בתל-אביב

רח' מבצע קדש 38 תל-אביב

Afeka.ac.il

תוכן העניינים

דבר העורכים.....	4
דבר הנשיא.....	5
1. ארנון בנטור	
הגישה המערכתית לחינוך מהנדסים ושימור כשירותם על פני מחזור החיים המקצועי.....	7
2. מיכל גשרי	
חינוך הנדסי מתוכנן: עשור של מנהיגות עם חזון במכללת אפקה.....	21
3. בועז לוי	
השינויים המהותיים שנחוצים באקדמיה להכשרת מהנדסים במציאות המשתנה.....	29
4. פרי לוי	
פרדוקס הפרסונליזציה: כיצד המרדף אחר "שוק של אדם אחד" בונה את "האני המאורגן".....	33
5. אהוד מניפז	
קופון אקדמי: הדרך לשיקום מהיר ואפקטיבי של מצבת המהנדסים והטכנולוגים במדינת ישראל.....	43
6. גבריאל פינטו ושושי רייטר	
תנובת ג'וניורים: חקר מקרה על קיצור זמן ההבשלה של מהנדסים צעירים באמצעות חינוך מעשי-הנדסי....	47
7. דדי פרלמוטר	
לומדים לחשוב, להרגיש ולהסתגל: החינוך בכלל וההנדסי בפרט בעידן הבינה המלאכותית.....	55
8. יוסי רוזנווקס	
התאמת לימודי ההנדסה למאה ה-21: דוח ועדת מל"ג.....	63
9. קותי שוהם וירון כהן צמח	
המצפן של המהנדס: מה המהפכה התעשייתית יכולה ללמד אותנו על עידן הבינה המלאכותית.....	71
10. ח"נ ביאליק	
"שיר העבודה והמלאכה".....	79

דבר העורכים

גיליון תשפ"ה של אפקה כתב עת רב-תחומי למדע והנדסה, יוצא לאור ברגע משמעותי, עם סיום כהונתו של פרופ' עמי מויאל כנשיא אפקה ומעברו לתפקיד יושב ראש הוועדה לתכנון ולתקצוב (ות"ת) של המועצה להשכלה גבוהה. גיליון חגיגי זה מוקדש להוקרה על מנהיגותו החינוכית יוצאת הדופן ולחזון שהוביל במשך יותר מעשור.

תרומתו של פרופ' מויאל לאפקה היא הרבה מעבר לגידול במספרים ובהישגים המרשימים. היא מבטאת תפיסת עולם חינוכית עמוקה הרואה בהכשרת מהנדסים לא רק העברת ידע טכני, אלא עיצוב דור של מנהיגים טכנולוגיים בעלי ראייה רחבה, ערכים ויכולת להוביל שינוי בתעשייה ובחברה הישראלית. החזון של "מוסד אקדמי מזן אחר" שהוביל, המשלב מצוינות אקדמית עם חדשנות פדגוגית ומחויבות חברתית, הפך את אפקה למודל לחיקוי במערכת ההשכלה הגבוהה.

המעבר של פרופ' מויאל לראשות ות"ת ממלא את המערכת האקדמית כולה בתקווה. הניסיון, החזון והיכולת הביצועית שהוכיח באפקה מבשרים על תקופה של חידוש ושינוי חיובי בהשכלה הגבוהה בישראל, בדיוק בזמן שהמערכת זקוקה למנהיגות אמיצה ומחדשת.

הגיליון המיוחד שלפניכם מציג מגוון רחב של מאמרים העוסקים באתגרי החינוך ההנדסי בעידן של שינוי מואץ. **ארנון בנטור** מציג גישה מערכתית מקיפה לחינוך מהנדסים, המדגישה את הצורך בלמידה לאורך החיים ובאזון בין העמקה דיסציפלינרית לרוחב רב-תחומי. **מיכל גשרי** מתארת את התהליך המרתק של הטרנספורמציה שעברה אפקה תחת הובלתו של פרופ' מויאל. **בועז לוי** מתמקד בתפקיד האקדמיה בהכשרת מהנדסים תוך שילוב תיאוריה, פרקטיקה וחשיבה מערכתית. **פרי לוי** מציגה את "פרדוקס הפרסונליזציה" בעידן הדיגיטלי ואת האתגרים האתניים הנלווים. **אהוד מניפז** עורך ניתוח של האתגרים המרכזיים של ההשכלה הגבוהה ומציע מודלים של "דחיפה ומשיכה" לפיתוח ידע ומצוינות.

גבי פינטו ושושי רייטר מנתחים את אתגר "תנובת הג'וניורים" ומציעים מודל לצמצום הפער בין האקדמיה לתעשייה. **דדי פרלמוטר** בוחן את השפעת מהפכת הבינה המלאכותית הגנרטיבית על מערכות החינוך וההנדסה. **יוסי רוזנווקס** מציג את מסקנות ועדת המל"ג שבראשותו עמד, הקוראת לרפורמה מקיפה בלימודי ההנדסה בישראל. לבסוף, **קותי שוהם וירון כהן צמח** מציעים ב"המצפן של המהנדס" מסגרת מושגית לארבע מיומנויות-על הכרחיות להכשרת מהנדסים במהפכה התעשייתית הרביעית.

הגיליון נחתם בשיר של חיים נחמן ביאליק, המשורר הלאומי, המזכיר לנו את החיבור העמוק בין מדע לרוח, בין טכנולוגיה לתרבות, בין חדשנות למסורת - חיבור העומד בלב החזון החינוכי שאנו מבקשים לקדם.

בימים מורכבים אלה, אנו מסיימים בתפילה לשלום חיילינו, לחזרתם המהירה של החטופים לבתיהם, להחלמתם המלאה של הפצועים, ולימים טובים יותר בהם תחזור מדינתנו לשגרה של בנייה, יצירה וצמיחה.

קריאה מהנה,

ד"ר קותי שוהם - עורך ראשי

ד"ר ירון כהן צמח - עורך מדעי

מר רן כהן - עורך לשוני

דברי פתיחה לגיליון המיוחד של כתב העת הרב־תחומי למדע והנדסה של אפקה

עם סיום תפקידי כנשיא אפקה, לכבוד הוא לי להציג בפניכם את הגיליון המיוחד של כתב העת הרב־תחומי למדע והנדסה של אפקה, המוקדש לנושא שהיה בלב העשייה שלנו בעשור האחרון – חינוך מהנדסים בעולם של שינוי טכנולוגי מואץ. עבורי, גיליון זה אינו רק ציון דרך מקצועי, אלא גם רגע אישי המעורר בי תחושת גאווה עמוקה – סיכום של פרק רווי תהליכי שינוי, חדשנות ועבודה משותפת, שזכיתי להוביל.

כמוסד אקדמי ציבורי, חזונה של אפקה היה ונותר להכשיר מהנדסות ומהנדסים מצוינים גם בעידן של שינויים מהירים בחברה ובשוק התעסוקה. לנוכח מציאות זו גיבשנו באפקה גישה חינוכית המבוססת על הקניית כישורים ומשלכת ידע מקצועי עם מיומנויות וערכים כחלק בלתי נפרד מתהליך חינוך המהנדסים. גישה זו מיושמת בכל רובדי העשייה של המכללה – בתוכניות הלימודים, בפדגוגיה בכיתות, בפעילויות שמחוץ למסגרת הלימוד, במרחבים הפיזיים של הקמפוס ובקשרים ההדוקים עם התעשייה ומערכת החינוך.

המסע שעברנו לא רק עיצב את דרכי הפעולה של אפקה, אלא גם בא לידי ביטוי בתוצאות של ממש: מספר הסטודנטים גדל ב-50% ומספרם של מחזורי הקליטה והבוגרים הוכפל. מעמדה של המכללה התחזק והיא נהפכה ממכללה להכשרת מהנדסים ומהנדסות למוסד אקדמי מוביל ומשפיע בתחום חינוך המהנדסים – מוסד שבוגריו מצוידים בכל הכישורים הנדרשים להם להיות מהנדסות ומהנדסים מצוינים ובעלי ראייה רחבה, כאלה שיחזקו את עוצמתה הכלכלית, החברתית והלאומית של מדינת ישראל.

שינוי כה עמוק ורחב היקף אינו מתרחש בכוחותיו של אדם אחד. השינוי הזה התאפשר בזכות עבודה משותפת עם חברי הסגל האקדמי והמנהלי, חברי חבר הנאמנים והוועד המנהל, שותפינו מהתעשייה, ממערכת החינוך ומהצבא, הסטודנטים והבוגרים. המחויבות והעשייה של כל מי שהיו מעורבים בדרך הזאת מדגימות את עוצמתו של שיתוף פעולה רב־תחומי לאורך הרצף החינוכי הלאומי.

מאז ומתמיד האמנתי שהנאה היא בסיס הכרחי למצוינות. לכן יצרנו באפקה סביבה תוססת ויצירתית, שבה הלמידה נובעת מתוך סקרנות, מעורבות ורצון אמיתי להבין, לגלות ולהשפיע. אפקה נהפכה לאורך השנים לפלטפורמה למימוש חלומות של סטודנטים וסטודנטיות שאינם מסתפקים רק בלמידה – אלא גם מבקשים להתרגש מעשייתם, של אנשי סגל ששואפים להתנסות, להשפיע ולהעז, ושל החלום שלי: ליצור מוסד אקדמי "מזן אחר", המוביל שינוי אמיתי בחינוך מהנדסים ומהנדסות בישראל ומשפיע על הרצף החינוכי הלאומי כולו.

במבט לאחור אפשר לראות כיצד חזון זה הלך והתגשם – שלב אחר שלב – בזכות דרך ברורה, עבודה משותפת ודבקות במשימה.

תודתי נתונה לעורכי כתב העת ולכל הכותבים והכותבות שתרמו לגיליון מיוחד זה, המתמקד בעתיד חינוך המהנדסים, מקדם את השיח הרב־תחומי החיוני בתחום ומתייחס לכל הרצף החינוכי.

אני מאחל לאפקה להמשיך לצמוח, להנהיג ולחדש גם בעתיד, ולהכשיר את הדור הבא של מהנדסים ומהנדסות שימשיכו לתרום לעוצמתה של מדינת ישראל – כלכלית, חברתית ולאומית.

בברכה,

פרופ' עמי מויאל

נשיא

אפקה – מכללה האקדמית להנדסה בתל אביב

הגישה המערכתית לחינוך מהנדסים ושימור כשירותם על פני מחזור החיים המקצועי

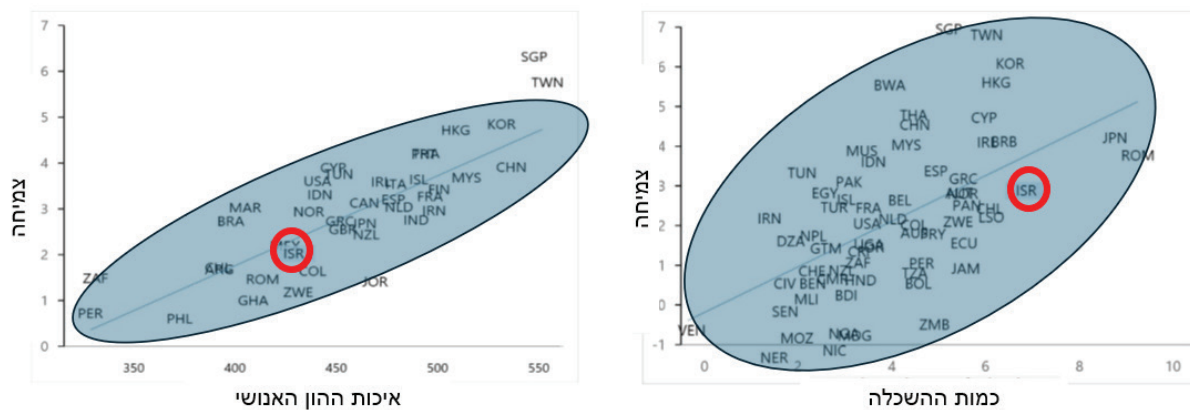
ארנון בנטור

הכותב הוא פרופסור אמריטוס בפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית בטכניון. כיהן בתפקידים בכירים בטכניון, ובהם משנה לנשיא למחקר, דיקן הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית, מנהל מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית ונשיא של RILEM. בשנים האחרונות הוא מקדם מחקר בתחומי ייצור דיגיטלי במסגרת המרכז לייצור מתקדם בבנייה שהוקם בטכניון. פעל לקדם מהלכים לקידום קשרי אקדמיה עם החברה והכלכלה בתפקידו עד לאחרונה כראש הוועדה לקשרי אקדמיה-משק במועצה הלאומית למו"פ אזרחי. ייסד וניהל עד לאחרונה את הפורום לחינוך מהנדסים, שבו שותפים בעלי עניין מתוך ומחוץ לאקדמיה. משמש כיו"ר ועדת ההיגוי לתוכנית "אקדמיה 360" במל"ג/ות"ת שייעודה העמקת החינוך האקדמי בתואר ראשון.

השינויים המואצים בעידן המודרני בתחומי המדע והטכנולוגיה מחד, ובתחומים החברתיים והסביבתיים מאידך, מחייבים ראייה מחודשת של חינוך מהנדסים ושימור כשירותם על פני כל מחזור חייהם המקצועיים. הידע מתיישן במהירות חסרת תקדים, והידע החדש הנוצר זמין במדיה האלקטרונית ההולכת ומשתכללת, כאשר ההתפתחות האחרונה היא בתחום הבינה המלאכותית. בנוסף לכל אלה, ההתקדמות הטכנולוגית דוחפת לכיוון טרנספורמציה של ההנדסה מהמיקוד הדיסציפלינרי לצורך ביכולת לפעול מתוך גישה מערכתית ורב תחומית, המקיימת גם אינטראקציה עם החברה, הסביבה והכלכלה. ללא גישה מערכתית מרחיבה כזו קשה עד בלתי אפשרי לקדם פרויקטים הנדסיים מודרניים ולאפשר חדשנות טכנולוגית ברת יישום. על רקע זה נדרש שינוי בחינוך מהנדסים כדי להקנות להם לא רק ידע מדעי-תשתיתי אלא גם מיומנויות וכישורים שיאפשרו להם לפעול מיד עם סיום הכשרתם האקדמית, על ידי הקניית יכולות ללימוד עצמי והתחדשות על פני כל הקריירה המקצועית שלהם. המאמר סוקר את ההתפתחויות בגישות לחינוך מהנדסים במהלך הלימוד לתארים האקדמיים תוך שילוב עם מסגרות חדשניות ללימוד לאורך החיים.

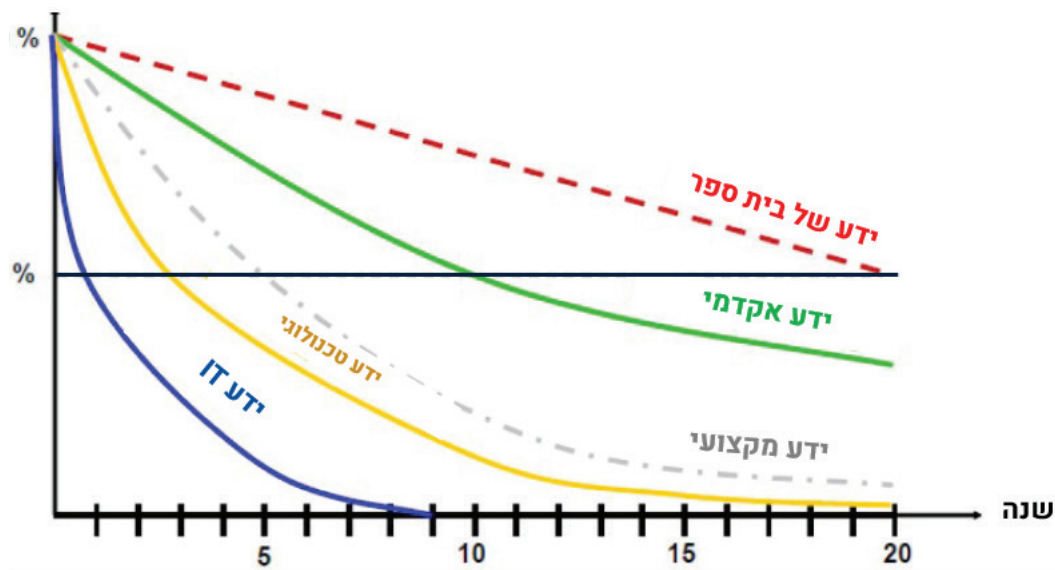
1. האתגר בחינוך האקדמי המודרני

החינוך האקדמי והאקדמי-פרופסיונלי עוברים טלטלה בתקופה הנוכחית על רקע השינויי המדעיים, הטכנולוגיים והחברתיים. ביטוי כמותי לכך ניתן לפני כמה שנים על ידי הנושק ולודג'ר [1] שהראו קיומו של קשר בין "כמות" ו"איכות" החינוך והצמיחה הלאומית (איור 1).



איור 1: קשרי גומלין בין צמיחה לכמות ההשכלה ואיכות ההון האנושי, עיבוד מתוך הנושק ולודג'ר [1], Fig. 13 p. 2.1, Fig 3.1 p. 44 (תוך הבלטת מקומה של ישראל (עיגול אדום))

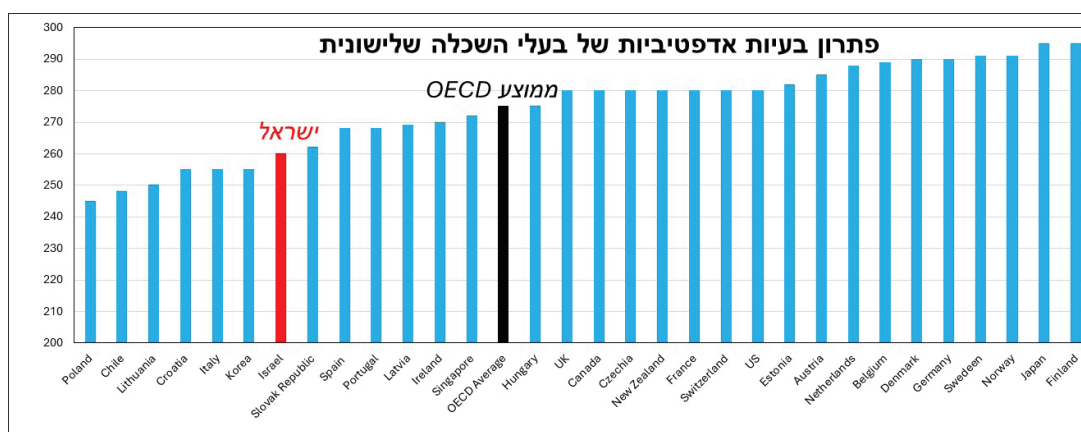
מאיור 1 רואים שקיימת מגמה לקשר בין איכות ההון האנושי והצמיחה, אך פחות מובהק הוא הקשר שבין צמיחה וכמות ההשכלה (תלויה בשנות לימוד ורמת השכלה, ראשוניות, שניונית ושלישונית). השוני הזה בקשרים מתעצם במיוחד בתקופה המודרנית, כאשר הידע מתיישן באופן מהיר: חצי מחזור החיים של ידע פחות מעשר שנים, ואף הרבה פחות בתחומים טכנולוגיים מתקדמים (איור 2); מנגד, ידע נעשה זמין באמצעים דיגיטליים שאליהם יש גישה לכלל הציבור ובמיוחד לציבור המקצועי, וכל זה מועצם בתקופה האחרונה באמצעות טכנולוגיות AI.



איור 2: התיישנות ידע מסוגים שונים וזמן מחצית החיים שלו, עיבוד מתוך צ'רלס [2]

על רקע זה, האיכות של החינוך כבר אינה נמדדת בידע בלבד, אלא גם על ידי הטמעת כישורים, שהכינוי שהיה מקובל בעבר של "כישורים רכים" כבר אינו מתאים להם. מדובר ביכולות של לימוד עצמי, חשיבה ביקורתית, פתרון בעיות מורכבות, עבודת צוות, תקשורת ועוד, והכינויים המקובלים כיום עבורם הם בקטגוריה של "כישורים קשים" כדוגמת כישורי ליבה חיוניים (core/essential skills), כישורי כוח (power skills) וכד'. אפיון ההון האנושי הלאומי מתבסס כיום על מבחנים דוגמת PIAAC ו-PISA, שבהם מאפיינים שורה של כישורים נבחרים, והם גם הבסיס לכימות איכות ההון האנושי.

ישראל נמצאת במקום גבוה בכמות ההשכלה בין מדינות ה-OECD, אך למרבה הצער היא מתחת למוצע באיכות ההשכלה. מצב זה בא לידי ביטוי בולט בכלל מערכת ההשכלה, אך גם בבעלי ההשכלה השלישית כפי שרואים בדוגמה של הכישור לפתרון בעיות אדפטיביות באיור 3.

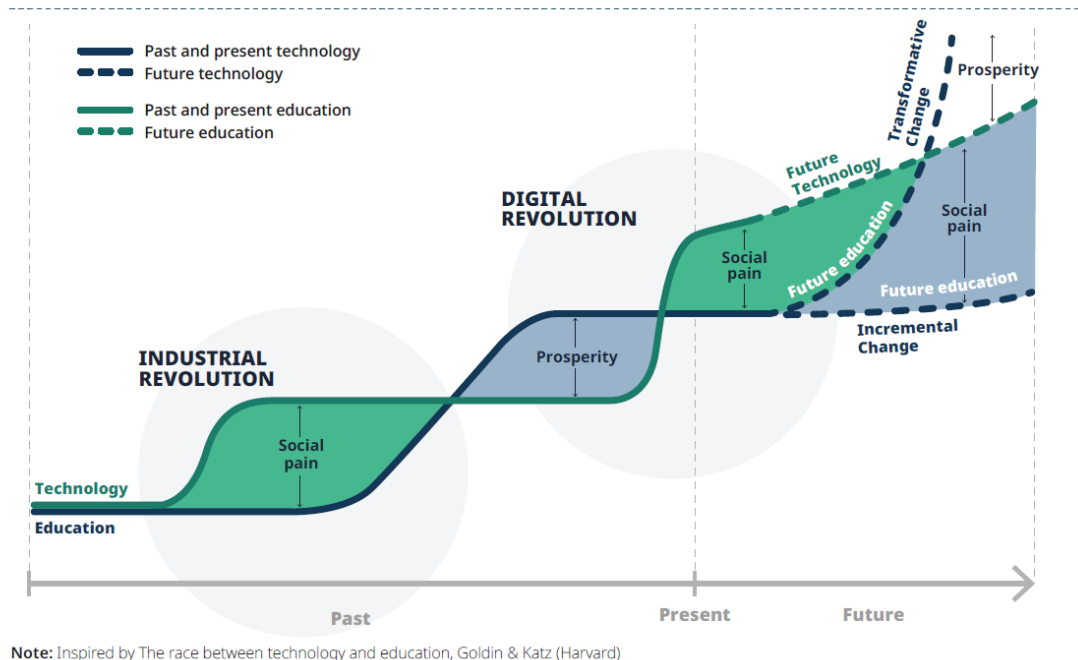


איור 3: דירוג מדינות לפי כישור במבחן PIAAC עבור הכישור לפתרון בעיות אדפטיביות של בעלי השכלה שלישונית. מעובד מתוך דוח של [3] OECD

על הרקע הזה בא הצורך לבחינה מחודשת של ההשכלה האקדמית בכלל [4, 5] ובמיוחד זו של ההנדסה [6], אשר לה תפקיד חשוב בקידום החברה, ובמיוחד בצמיחה שלה. בישראל הנושא קודם בשנים האחרונות במסגרת של הפורום לחינוך מהנדסים שהוקם במוסד שמואל נאמן בטכניון שבו חברים מגוון בעלי העניין, אוניברסיטאות, מכללות להנדסה, גופי ממשל, תעשייה ונציגות סטודנטים [7]. לאחרונה הנושא זכה לטיפול ברמה הממסדית במסגרת ועדה שהוקמה במל"ג, ושהציגה המלצות לרביזיות בחינוך מהנדסים [8].

ראוי להדגיש שהצורך הזה בסגירת פערים אינו מצביע בהכרח על חולשה מובנית, אלא הוא תהליך טבעי שנלמד על פני תקופות ארוכות, ואשר בהן נמצא שהחינוך מפגר תמיד אחר ההתפתחויות הטכנולוגיות (איור 4). דוגמה שממחישה זאת במיוחד היא האתגרים החדשים בחינוך על רקע ההתקדמות של השנים האחרונות בתחום הבינה המלאכותית.

Figure 1 The race between technology and education



איור 4: התחרות בין טכנולוגיה לחינוך, מתוך דוח OECD

החשיבות של כישורים וערכים, דוגמת חשיבה ביקורתית ואתיקה, לא רק שאינם פוחתים בעידן ה-AI, אלא הצפי הוא שהם אף יעצימו. המכלול הזה של אוריינות, מיומנויות וערכים, שאותם צריכים לשלב כיום בחינוך האקדמי בכלל (ולא רק), ובחינוך האקדמי-פרופסיונלי הוגדרו על ידי ה-OECD. ובמילות הדוח עצמו [5]:

Competencies (כישורים) – types of knowledge, skills, attitudes and values students need to transform society and shape the future for better lives.

Knowledge (אוריינות) – Knowledge includes theoretical concepts and ideas in addition to practical understanding based on the experience of having performed certain tasks. The OECD report recognizes four different types of knowledge: disciplinary, interdisciplinary, epistemic and procedural.

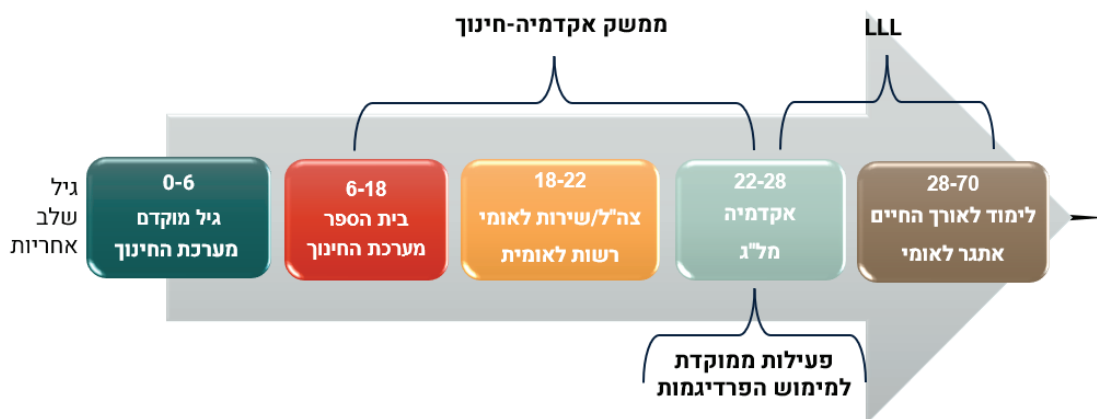
Skills (מיומנויות) – Ability and capacity to carry out processes and be able to use one's knowledge in responsible way to achieve a goal. The OECD report distinguishes three different types of skill: cognitive and metacognitive, social and emotional, and practical and physical.

Attitudes and values (ערכים וגישות) – The principles and beliefs that influence one's choices, judgements, behaviors and actions on the path towards individual, societal and environmental wellbeing.

במאמר הנוכחי הדגש הוא על הנגזרות הנדרשות בתחום החינוך ההנדסי, אך התובנות שמתגבשות רלוונטיות גם לתחומי חינוך אקדמי-פרופסיונלי אחרים, המתמודדים עם אתגרים דומים.

2. גישה מערכתית והפרדיגמות הנגזרות מכך

כדי להתמודד עם אתגרים אלה יש צורך בגישה חדשה לתהליך החינוך וההכשרה של מהנדסים. ברמת העל הלאומית, החינוך ההנדסי צריך להיות בנוי כחוליה בתוך שרשת החינוך, החל מבתי ספר, דרך החינוך האקדמי הפורמלי לתואר ועד ללימוד לאורך החיים [9, 10] (איור 5).



איור 5: שרשת חינוך והמאפיינים הייחודיים במדינת ישראל של שירות צבאי ולאומי כחלק ממנה

מבחינה מעשית, לאקדמיה השפעה מוגבלת על הנעשה במערכת החינוך, ועם זאת יש לה יכולת לאימפקט בלתי ישיר, באמצעות מדיניות המיון והקבלה, כממשק שבין החינוך בבתי הספר לאקדמיה [11]. נושא זה דורש התייחסות מיוחדת, שאינה רק מקצועית אלא גם חברתית בכל הקשור למוביליות חברתית. מדובר בנושא כבד ועומד בפני עצמו, והוא מעבר למסגרת של המאמר הנוכחי.

בתחום של ההכשרה האקדמית-מקצועית, ששבו לאקדמיה יכולת השפעה רבה, נדרשת גישה חדשה שצריכה לתת ביטוי לשורה של פרדיגמות עדכניות בחינוך מהנדסים. דוגמה לכך היא מסגרת של ארבע קבוצות של פרדיגמות שפותחו במסגרת הפורום לחינוך מהנדסים במוסד שמואל נאמן בטכניון [7]:

ידע וכישורים

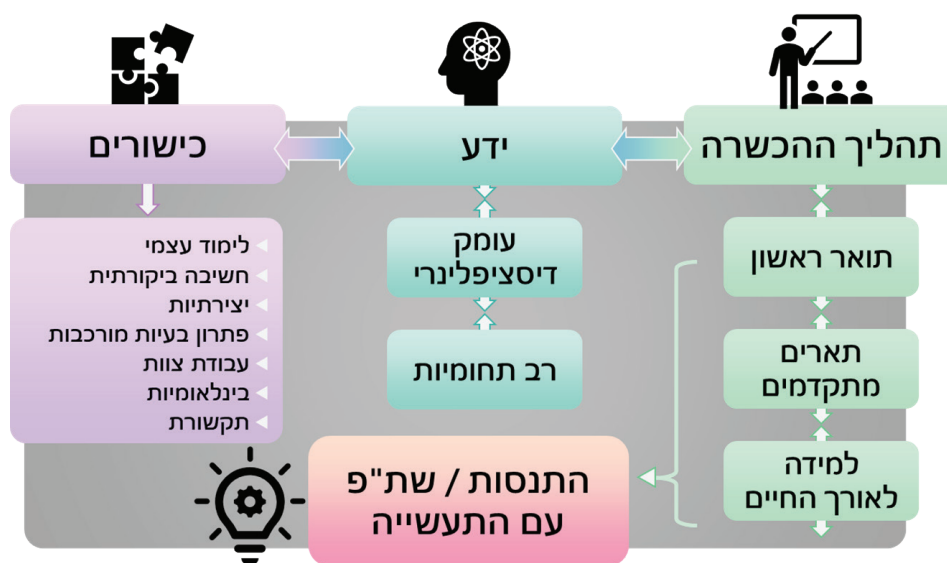
1. שבירת הפרדיגמה של חשיבות הידע כערך מרכזי ובלעדי.
2. שבירת הפרדיגמה שמקצוען הוא בהכרח בעל התמחות והתמקדות בתחום צר.
3. בנוסף לליבת המדע וההנדסה נדרשת גם הקניית כישורי הובלה והשפעה (חיוניים/רכים).

העולם המציאותי והתעשייה

4. להקנות ארגז כלים לפעול ב"עולם המציאותי", ותוכנה שלא תמיד יש פתרון אחד לאתגר ולבעיה.
5. חינוך מהנדסים איננו מתרחש רק בין כותלי האקדמיה; יש צורך בשיתוף התעשייה ופיתוח מודלים חדשניים לשותפות.
6. מודלים להתנסות, למנף את העובדה שמרבית הסטודנטים להנדסה בישראל עובדים במקצוע במהלך לימודיהם.

סטודנטים

7. יצירת חוויית לימודים שמעוררת התלהבות ותשוקה להנדסה כמקצוע מוביל (leading profession).
 8. יצירת המחויבות למקצוע כבר בתחילת הלימודים בשורה של מנגנונים, דוגמת פרויקטים כבר בקורס א' ויישום הדרגתי של פרויקט לאורך כל מסלול הלימוד.
 9. מיון מועמדים המבוסס גם על אפיון פוטנציאל כישורים ולא רק ידע ומבחן פסיכומטרי.
- סגל
10. תפקיד הסגל האקדמי חייב לעבור שינוי תודעתי מ"מרצה" ל"מנטור/מרכז תוכן של קורס".
 11. השקעה בפיתוח ושדרוג של אנשי הסגל לסיוע והטמעה של פדגוגיה עדכנית – סיוע טכנו-פדגוגי צמוד – כולל גם הערכה של תרומה לחינוך בקידום האישי האקדמי.
 12. שילוב של מינויים מהתעשייה במנגנונים שונים, בהם גם Professor of Practice.
- כדי לעמוד באתגרים אלה נדרש שינוי בעל אופי מערכתי, כפי שעלה גם בדוח של מוסד שמואל נאמן [7] ובוועדה של המל"ג [8]. מודל מערכתי ברוח זו פותח והוצע במסגרת הפעילות בפורום לחינוך מהנדסים במוסד שמואל נאמן (איור 6).



איור 6: גישה מערכתית לחינוך מהנדסים שפותחה והוצעה במסגרת הפעילות של הפורום לחינוך מהנדסים במוסד שמואל נאמן בטכניון

הגישה המערכתית המוצגת באיור 6 מתייחסת לכל שרשרת הרצף החינוכי, כולל לימוד לאורך החיים וכן גם לממשקים מורכבים בתוך התוכנית האקדמית עצמה, ובמיוחד איזון נכון של המתח שבין הטמעת מיומנויות וכישורים להקניית ידע. הנגזרות של שינויים מעלות את הצורך לשתף את התעשייה בתהליך הלמידה, כשותפים ולא רק כ"נותני שירותים". שיתופים אלה יכולים לבוא לידי ביטוי בשורת מנגנונים, וביניהם התנסות מובנית בתעשייה כחלק של תהליך החינוך ההנדסי, פרויקטים בתעשייה, שיתוף של מומחים מהתעשייה

כחברי סגל במעמד פרופסור מומחה, אשר להם חלק בחיי היחידה האקדמית ובגיבוש תוכניות לימודים, ולא רק במעמד של מרצים אורחים.

המתח בין הטמעת מיומנויות וכישורים ובין הקניית ידע הוא משמעותי מאוד בשורת היבטים: האם האחד הוא על חשבון השני? מה הם המיומנויות והכישורים החשובים? איך מגדירים אותם? כיצד מעריכים ומודדים את רמת הטמעתם ברמת הפרט וברמת התוכנית? אתגרים אלה באים לידי ביטוי היום בשורה של מחקרים ופיתוחים של מתודולוגיות למידה והערכה. אחת ההערכות המובילות היא שביישוב של שיטות הוראה ולמידה מתקדמות האחד לא חייב לבוא על חשבון השני.

נושאים אלה עלו במסגרת שולחן עגול בין-לאומי שיזם מוסד שמואל נאמן בטכניון [12]. אחת התובנות החשובות שעולות מפעילויות אלה היא שהשילוב של הטמעת מיומנויות במסגרת קורסי ופעילויות תוכן דוגמת פרויקטים, יכול להביא תועלת לקידום בו זמני של שתי המטרות, תוכן וכישורים. בשילוב זה הידע נקלט בצורה עמוקה יותר והכישורים המפותחים במסגרת קונטקסט מוטמעים בצורה אפקטיבית יותר. כדי למקד, ראוי להגדיר את המיומנויות והכישורים שהם החשובים יותר, שהם בעלי ערך גנרי לכלל הדיסציפלינות, ובהם לרכז את המאמץ החינוכי. מחקרים רבים מכיוון האקדמיה והתעשייה נערכים במטרה לפתח תובנות בתחום זה, והמגמות המתקבלות דומות באופן כללי, כפי שמציגה טבלה 1.

מיומנויות (skills) לחינוך ל STEM, מחקרי וסקרי מוסד נאמן בתחום חינוך ואקדמיה	מיומנויות (skills) לעיסוקי הייטק, סקר מכון אהרון של צרכי תעשיית ההייטק
למידה עצמית/למידה לאורך החיים	לימוד עצמי (74%)
עבודת צוות, שיתוף פעולה ושותפות, תקשורת בינאישית	עבודת צוות (82%) מיומנויות תקשורת (88%)
פתרון בעיות מורכבות/חשיבה ביקורתית	פתרון בעיות (93%) חשיבה ביקורתית (83%)
יזמות/חדשנות/יצירתיות	חשיבה יצירתית (80%)
גמישות מחשבתית ורגשית/כושר הסתגלות/חוסן נפשי	מוטיבציה למשימות (84%) פתיחות (83%)
מודעות בין תרבותית/כשירות גלובאלית והכלת השונה	
לקיחת אחריות וקבלת החלטות תוך הפעלת שיקולים ערכיים, אתיים ומוסריים	
כישורים אנליטיים	

טבלה 1: תובנות לגבי המיומנויות והכישורים הגנריים החשובים יותר בהתבסס על מחקרים שהיוזמה להם באה מכיוון האקדמיה (מוסד שמואל נאמן בטכניון) ומכיוון התעשייה (מכון אהרון באוניברסיטת רייכמן):

3. גיבוש תוכנית לימודים ואקרדיטציה

גיבוש תוכנית לימודים הנדסית ברוח העקרונות המוצגים כאן מחייב במידה רבה רעיונות. לעיתים, בגלל מגבלות ואילוצים נדרש לקדם אותה בגישה אינקרמנטלית, שהבסיס לה הוא תוכנית קיימת. גם אם האילוצים מחייבים גישה כזו, מן הראוי לגבש מתווה של המטרה אליה רוצים להגיע. מתווה זה ישמש כ"מצפן" שעל בסיסו מנתחים ומאשרים כל צעד. דוגמה למתווה כזה, שיש בו את העקרונות שתוארו לעיל, מוצגת בטבלאות 1 ו-2. מתווים אלה גובשו על ידי האגודה האמריקאית להנדסה אזרחית (ASCE), אך יש בהם את כל העקרונות של הגישה הגנרית המתבססת על ארבע קטגוריות של מקבצים [13]: תחומי היסוד (כולל מדעי חברה ולא רק מדעים מדויקים), מדעי ההנדסה, התחום הטכנולוגי/דיסציפלינרי, והתחום המקצועי/פרופסיונלי. יש במתווה כזה את האיוון בין רוחב ועומק וכן גם שילוב של מיומנויות וכישורים שמוטמעים במקצועות הלימוד, בסיווג לרמות קוגניטיביות (טבלה 2) ורגשיות (טבלה 3).

טבלת תוצרי למידה קוגניטיביים						
רמה קוגניטיבית						
6	5	4	3	2	1	
להעריך ⁶	סינתזה ⁵	אנליזה ⁴	ליישם ³	להבין ²	ידע/לזכור ¹	
תחומי יסוד						
			תואר I	תואר I	תואר I	מתמטיקה
			תואר I	תואר I	תואר I	מדעי הטבע
			תואר I	תואר I	תואר I	מדעי החברה
			תואר I	תואר I	תואר I	מדעי הרוח
יסודות ההנדסה						
			תואר I	תואר I	תואר I	מדעי החומרים
			תואר I	תואר I	תואר I	מכניקה הנדסית
		תואר II	תואר I	תואר I	תואר I	שיטות ניסיוניות וניתוח נתונים
	התנסות	התנסות	תואר I	תואר I	תואר I	חשיבה ביקורתית ופתרון בעיות
טכניים						
	התנסות	תואר II	תואר II	תואר I	תואר I	עומק בהנדסה אזרחית
		התנסות	תואר I	תואר I	תואר I	רוחב בהנדסה אזרחית
			התנסות	תואר I	תואר I	ניהול פרויקטים
			התנסות	תואר I	תואר I	כלכלה הנדסית
	התנסות	התנסות	תואר I	תואר I	תואר I	ניהול סיכונים ואי ודאות
		התנסות	תואר I	תואר I	תואר I	תכן
		התנסות	תואר I	תואר I	תואר I	קיימות
מקצועיים/פרופסיונליים						
			תואר I	תואר I	תואר I	תקשורת
			תואר I	תואר I	תואר I	עבודת צוות ומנהיגות
			תואר I	תואר I	תואר I	לימוד לאורך החיים/לימוד עצמי
			התנסות	תואר I	תואר I	גישה (attitude) מקצועית
		התנסות	התנסות	תואר I	תואר I	אחריות מקצועית
		התנסות	התנסות	תואר I	תואר I	אחריות אתית
1 היכולת לזכור חומר שנלמד קודם לכן						
2 היכולת לתפוס את המשמעות של החומר הנלמד						
3 היכולת לעשות שימוש בחומר הנלמד במצבים חדשים קונקרטיים						
4 היכולת לפרק את החומר הנלמד למרכיבים שלו כך שהמבנה הארגוני שלו ניתן להבנה						
5 היכולת להרכיב את החומר הנלמד למכלול הכולל						
6 היכולת להעריך את החשיבות של החומר הנלמד עבור מטרה מסוימת						

טבלה 2: תוכניות לימוד ותוצרי למידה קוגניטיביים; מעובד ממסך של ה-ASCE [13]

טבלת תוצרי למידה ריגושיים (affective)					
רמה ריגושית					
5	4	3	2	1	
לאפיין ⁵	לארגן ⁴	להעריך ³	להגיב ²	לקבל ¹	
טכניים					
קיימות		תואר	תואר	התנסות	פיתוח עצמי
מקצועיים/פרופסיונליים					
תקשורת	תואר	תואר	התנסות	פיתוח עצמי	
עבודת צוות ומנהיגות	תואר	תואר	התנסות	פיתוח עצמי	
לימוד לאורך החיים/לימוד עצמי	תואר	תואר	התנסות	פיתוח עצמי	
גישה (attitude) מקצועית	תואר	תואר	התנסות	פיתוח עצמי	
אחריות מקצועית	תואר	תואר	התנסות	פיתוח עצמי	
אחריות אתית	תואר	תואר	התנסות	התנסות	פיתוח עצמי
¹ היכולת להיות מודע ומוכן לקבל ולהיות קשוב לתופעה מסויימת או התנהגות					
² היכולת להיות פעיל בהשתתפות בפעילות, להשתתף במטלה ולהגיב למוטיבציה					
³ היכולת לתת ערך למטרה מסויימת, תופענה או התנהגות					
⁴ היכולת למיין ערכים ולתת קדימויות ע"י השוואה בין ערכים לאפיין קונפליקטים ביניהם וליצור מערכת של סולם ערכים					
⁵ היכולת לעקוב אחר מערכת של סולם ערכים ששולטת על התנהגות שהיא רחבה, עקבית, ניתנת לחיזוי ומגדירה מאפיינים					

טבלה 3: תוכניות לימוד ותוצרי למידה ריגושיים, מעובד ממסמך של ה-ASCE [13]

המיוחד בגישה זו ודומות לה, המקובלות בכמה מדינות, הוא התייחסות לתוכנית הלימודים במונחים של תוצרי למידה ולא דווקא כתשומות של סילבוס מקצועות לימוד, כמו גם הפריסה לפי העניין על פני תואר ראשון, תואר שני והתנסויות מובנות (כפי שרואים בהדגשות של הצבעים בטבלאות 2 ו-3). גישה זו מאפשרת גמישות מבחינת בניית תוכנית הלימודים, וגם את ההדגשים לפי דמות הבוגר בהתאמה לחזון וליעדים של כל מוסד.

ההגדרה של תוצרי למידה מחייבת בניית מתודולוגיות מתאימות של פדגוגיה, הערכה ומדידה וכן גם קריטריונים לאקדמיים ברמה הלאומית. טבלה 4 מדגימה גישה זו בהתבסס על הקריטריונים של תוצרי למידה, להכרה בהנדסה אזרחית לפי העקרונות של ASCE [13] ו-ABET [14]. העקרונות הללו ב-ABET דומים בכלל הדיסציפלינות ההנדסיות. לעומת גישה זו, הקריטריונים של אקדמיים לפי רשם המהנדסים במדינת ישראל (טבלה 4) מבוססים על קורסי לימוד עם תוכניות לימוד מוכתבות, דבר שאיננו מאפשר אותם גמישות וגיוון שקיימים במרבית המדינות המתקדמות. נראה, אפוא, שהרוויזיה בתוכניות להכשרת מהנדסים מחייבת צעדים לא רק ברמת המוסדות כי אם גם ברמה הלאומית, וכאן נדרש לגבש מדינות מעודכנת במסגרות של מל"ג ורשם המהנדסים.

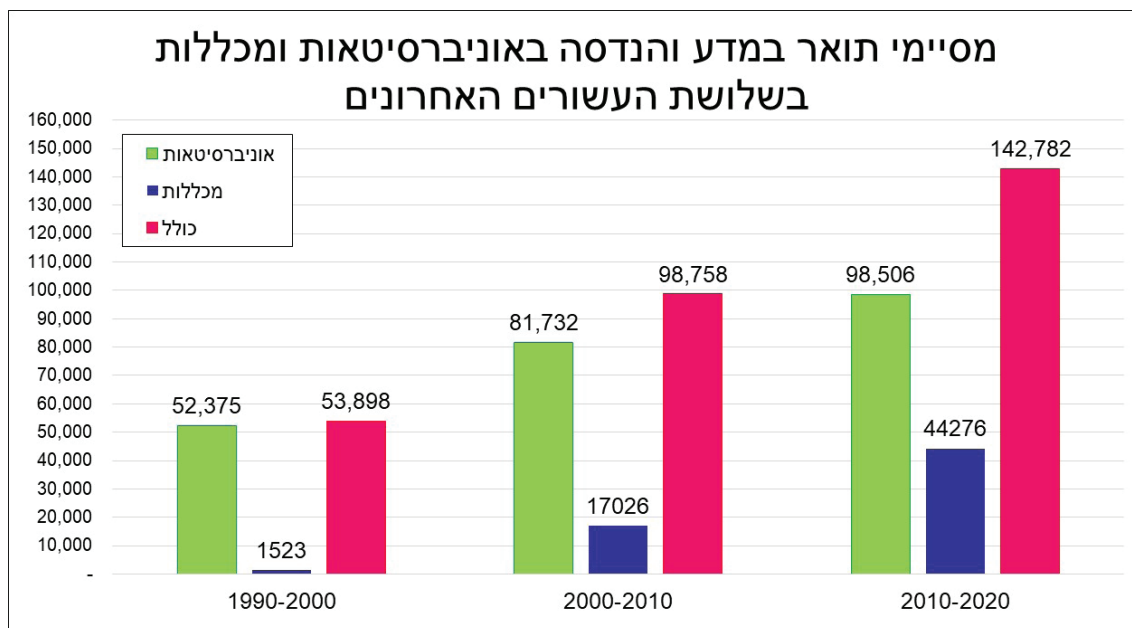
תוצר למידה	ABET	ASCE	ישראל ¹
מדעי היסוד			
מדעי חברה ורוח			
סטטיסטיקה, אי ודאות			
פתרון בעיות ב-4 תחומים			
ניסויים בשני תחומים לפחות			
תכן מערכות בשני היבטים רלוונטיים			בתחום אחד
היבטי קיימות בתכן			
ניהול, מדיניות ציבורית			
מנהיגות, עבודת צוות			
אתיקה			
התנסות			
לימוד עצמי			
רוחב			
עומק			בתואר שני בתואר ראשון
¹ הערה: בישראל אקדיטציה מבוססת על מקצועות לימוד, בארה"ב על תוצרי למידה			

טבלה 4: קריטריונים לאקדמיטציה של תוכניות לימוד הנדסיות (דוגמה של הנדסה אזרחית) לפי ASCE, ורשם המהנדסים במדינת ישראל

4. לימוד לאורך החיים

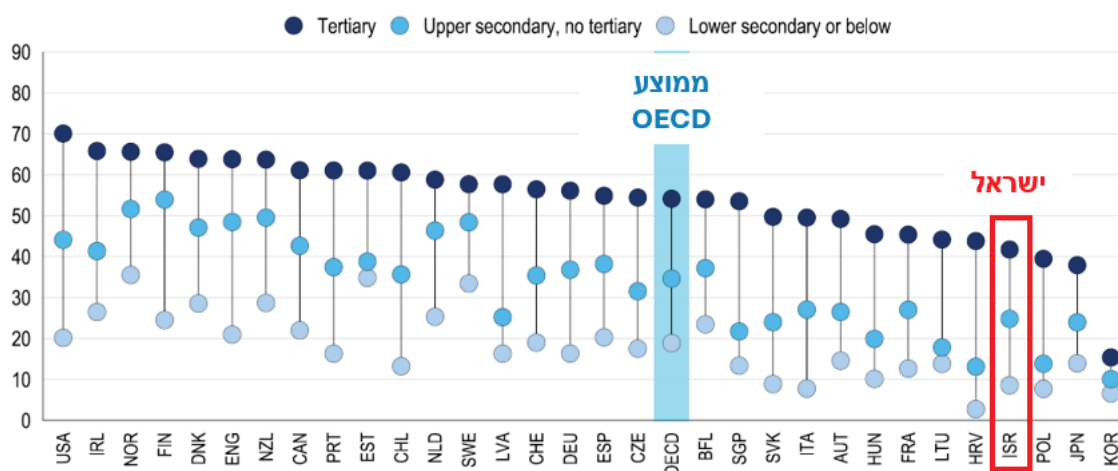
הנושא של לימוד לאורך החיים מקבל כיום מקום חשוב בהכשרת מהנדסים. זאת, על רקע ההכרה שהכשרת מהנדסים אינה מסתיימת עם מתן התואר, ויש צורך במסגרות מתאימות שיוכלו לאפשר וגם לעודד לימודי המשך. מסגרות אלה יכולות להיות גמישות באופיין: בצד האחד אקדמיות ובצד השני השתלמויות על ידי גופים לא אקדמיים (תעשייה, ארגונים מקצועיים), וגם שילוב במודלים שונים של שיתופי פעולה בין האקדמיה למשק.

התחושה היא שההיקף של צורך זה משמעותי, אם כי קשה לאמוד במדויק את היקפו. לימוד לאורך החיים מתקיים בו זמנית במנגנונים רבים, כחלק מהפעילות השוטפת במסגרת היום-יומית, בהשתלמויות מאורגנות במסגרת מקום העבודה או ארגונים מקצועיים למיניהם, ולימודי המשך במסגרות אקדמיות, כולל גם תארים גבוהים. הערכה לגבי פוטנציאל ההיקף בישראל ניתן לקבל על ידי ניתוח מספר בוגרי הנדסה בכל אחד מהעשורים האחרונים (איור 7), כאשר מביאים בחשבון שכ-50% מהידע מתיישן בכל עשור.



איור 7: מסיימי תואר במדע והנדסה באוניברסיטאות ומכללות בישראל בשלושת העשורים האחרונים (עיבוד של מוסד שמואל נאמן מתוך נתוני ות"ת/למ"ס)

אין בידנו אומדנים של ההיקף של השתתפות של מהנדסים בלימודים לאורך החיים, אך נתונים שפרסם באחרונה ה-OECD על לימוד של מבוגרים [15] מצביע על כך שיש פיגור ניכר בישראל יחסית למדינות OECD אחרות, גם בקרב בוגרי השכלה שלישונית, כאשר ישראל נמצאת הרבה פחות מהמוצע (איור 8).

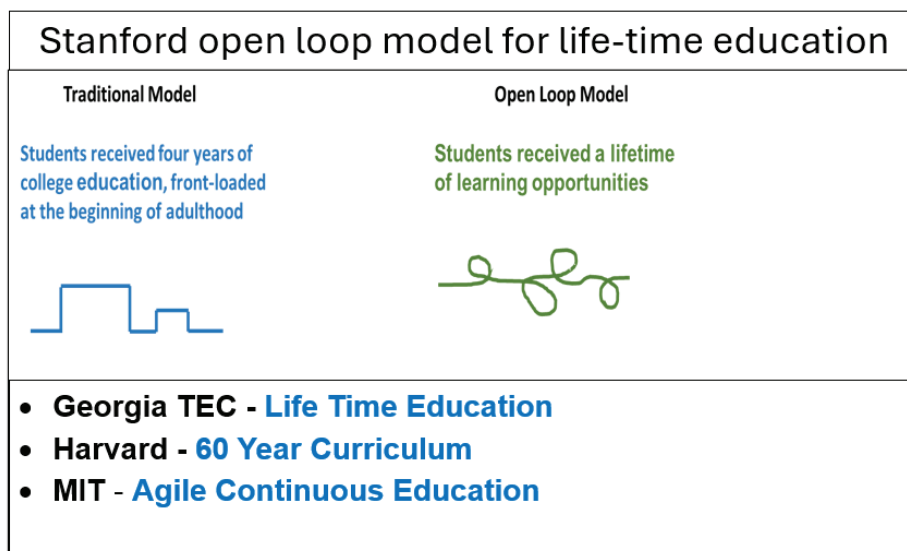


איור 8: השתתפות מבוגרים בעלי השכלה שלישונית בלימודי מבוגרים, דוח [15] OECD, עם הדגשה על מיקומה של ישראל

השינויים המשמעותיים הללו בזמן מחצית החיים של ידע מחייבים שינוי פרדיגמה בכל ההתייחסות ללימוד לאורך החיים, כגורם שלא ניתן לראות אותו כמשני בלבד ללימודים הפורמליים בגיל צעיר. גישה זו באה לידי ביטוי בחשיבה מחודשת של התפקיד של המוסדות להשכלה גבוהה בתחום החינוך לאורך החיים ותפקידן בליווי הבוגרים במהלך כל חייהם המקצועיים. נושא זה תופס מקום חשוב בדיונים לגיבוש מדיניות לגבי תפקידה של האקדמיה בכלל ובתחום זה בפרט, למשל הדוח של E&Y [16]. התובנה שהוא מבטא היא הצורך בהתארגנות אחרת בתוך המוסדות להשכלה גבוהה עצמם, וגם ברמת מדיניות לאומית. למשל, במסגרת המוסדות, ניתן לפתח מודלים חדשים של לימוד, כדוגמת לימוד במקבצים קצרים, למיקרו-תארים. ברמה הלאומית עולה גם הצורך במעורבות הממשלה בעידוד לימוד לאורך החיים, ודוגמה לכך היא המדיניות של סינגפור, ולהלן ציטוט [16]:

"To encourage lifelong learning and skill building, governments could provide citizens with a learning wallet to be spent at the student's discretion on accredited courses, agnostic of the pathway or the provider. The Singapore Government has been doing this for four years through its SkillsFuture program and employers are increasingly offering similar schemes."

על רקע זה ניכר שינוי בחשיבה של אוניברסיטאות מובילות בעולם, המעדכנות את האסטרטגיה שלהן מתוך מטרה לכלול את הלימוד לאורך החיים כאחד מהיעדים, ולא רק פעילות צדדית המונעת בעיקר משיקולים כלכליים. פותחו מודלים שונים, של מעבר ממודלים מסורתיים למודלים דוגמת הלולאה הפתוחה באוניברסיטת סטנפורד ובאוניברסיטאות מובילות נוספות, תחת שמות מגוונים (איור 9).



איור 9: מודלים ללימוד לאורך החיים כחלק מאסטרטגיה של אוניברסיטאות מובילות בארה"ב

בישראל, הנושא עלה כמרכזי במסגרת הפורום לחינוך מהנדסים במוסד שמואל נאמן בטכניון [10] וטופל גם במסגרת הוועדה לקשרי אקדמיה-משק של המולמ"פ [17]. ועדה זו המליצה על הקמת מערך לאומי הכולל כמה נדבכים:

אקרדיטציה והבטחת איכות

- מינוף הפלטפורמה של מערך התעודות הלאומי שמתוכנן לקום כתשתית לאקרדיטציה ולהבטחת איכות בתחומי הלימוד בכלל והלימוד לאורך החיים בפרט.

מיפוי ומאגרי מידע

- מיפוי קהלי יעד, צרכנים, ספקי LLL ומאגרי מידע שיוכלו גם לקשר ביניהם (מאגרים אינטראקטיביים מונעי-AI).
- מיפוי תחומים מקצועיים וטכנולוגיות מפציעות לצורך הכוונה לפיתוח פעילויות LLL.
- שיתוף האקדמיה במערך הלאומי של לימוד לאורך החיים
- מודלים לש"פ בין אקדמיה למגזרים העסקי והציבורי לקידום LLL.
- לימוד לאורך החיים כיעוד במערכת ההשכלה הגבוהה.

קידום פלטפורמות טכנו-פדגוגיות ללימוד לאורך החיים

- מינוף הפלטפורמה של קמפוס IL ללימוד לאורך החיים.
- יישום נדבכים אלה ברמה הלאומית אינו קל, אך יש בהחלט מקום להובלה של מערכת ההשכלה הגבוהה בנדבך של שיתוף האקדמיה במערך הלאומי, תוך דגש על מודלים משותפים עם התעשייה. הניסיון בארה"ב [18] מצביע על כך ששיתופים אלה מניבים גם יתרונות נלווים חשובים, להידוק הקשרים בין האקדמיה לתעשייה. נגזרות של התחדשות מתקיימות בתוכניות הלימוד וביוזמות למחקרים משותפים על רקע ההתחככות בין חברי הסגל לאנשי התעשייה במסגרת לימוד לאורך החיים (LLM).

5. סיכום ומסקנות

השינויים המואצים בעידן המודרני בתחומי המדע והטכנולוגיה, מחד, ובתחומים החברתיים והסביבתיים, מאידך, הובילו לתובנה שנדרשת ראייה מחודשת של חינוך מהנדסים ושימור כשירותם על פני כל מחזור חיים המקצועיים. הפעילות האינטנסיבית שנוצרה עקב כך בגופים שונים במערכת האקדמית ובארגונים המתממשים עם המערכת הזו, במיוחד מערכת החינוך מחד והתעשייה מאידך, הובילה להבנה שנדרשת גישה מערכתית, בתוך האקדמיה עצמה וגם באינטראקציה שלה עם מערכת החינוך; מערכות החינוך הן שער הכניסה לאקדמיה, ואילו שער היציאה וההמשך הן התעשייה והמשק בכללותו, ה"צרכנים" של ההון האנושי ההנדסי היוצא משערי האקדמיה. התפיסה המערכתית הזו הכרחית לאקדמיה בכל הקשור להמשך היותה רלוונטית לחינוך פרופסיונלי של מהנדסים (ולא רק). הפרדיגמות החינוכיות והמבניות הנגזרות מכך מתחילות להיות מגובשות ומסתמנים כיוונים ומודלים שיש הסכמה כללית על העקרונות שלהם. התובנות הן בעיקר לגבי הצורך באיזון בין הקניית ידע וטיפול מיומנויות וכישורים במסגרת תוכניות הלימוד, וכן גם הצורך במודלים חדשים של שיתופי פעולה עם התעשייה, במהלך הלימודים לתואר ההנדסי וגם לאחריהם.

הגישות לקידום החינוך ההנדסי אקדמי בכיוונים אלה הן רבות ומגוונות, אך כדי שהן יניבו את התוצאות המקוות יש צורך לפתח בכל מוסד גישה אסטרטגית שביסודה הגדרת דמות הבוגר/ת, שמתוכה ייגזרו דרכי הפעולה, כאשר החזון האסטרטגי משמש כמצפן לדרך, בין אם היא מבוססת על מהלכים דרסטיים של רויזיה או מהלכים אינקרמנטליים.

מקורות

1. *The Knowledge Capital of Nations*, E.A. Hanushek and W. Ludger (CESifo Book Series).
2. P. Charles, "What can you do about the half-life of your professional knowledge?", 2019, <https://transportfutures.institute/what-can-you-do-about-the-half-life-of-your-professional-knowledge>.
3. *2023 OECD Survey of Adult Skills*, OECD, 2024.
4. *Defining The Skills Citizens Will Need in the Future World of Work*, McKinsey & Company, 2021.
5. *OECD Future of Education and Skills 2030: OECD Learning Compass*, OECD, 2019.
6. עולם ההנדסה והמהנדסים: ההתפתחות ההיסטורית ודרכי הפעולה בעולם המודרני, ב. קרפ, א. זוננשיין, א. בנטור, מוסד שמואל נאמן, הטכניון, 2021.
7. הפורום לחינוך מהנדסים במאה ה-21: תמונת מצב, א. בנטור, א. זוננשיין, ת. דיין, מוסד שמואל נאמן, הטכניון, 2022.
8. בחינת לימודי התואר הראשון בהנדסה במוסדות להשכלה גבוהה בישראל - דו"ח הוועדה ללימודי תואר ראשון בהנדסה, מל"ג, 2025.
9. קידום ההקניה של כישורים, אוריינות, מיומנויות, ערכים וגישות בשרשרת החינוך, א. איזנברג, א. בנטור, א. זוננשיין, ת. דיין, א. זרצר, מוסד שמואל נאמן, 2022.
10. לימוד לאורך החיים. אבנטור, א. זוננשיין, רכץ, גפורטונה, ת. דיין, חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, הטכניון, 2020.
11. ממשק אקדמיה-חינוך בבתי ספר כמנוע לשינויים מערכתיים, אבנטור, א. זוננשיין, ת. דיין, מוסד שמואל נאמן, הטכניון, 2020.
12. "International Round Table for Advancing Skills STEM Education", Phase II, E. Eisenberg, A. Bentur, Y. Dori, M. Maklada, A. Zonnenshain, T. Dayan, Samuel Neaman Institute for National Policy Research, Technion, 2025.
13. *Civil Engineering Body of Knowledge: Preparing the Future Civil Engineer*, 3rd Edition, American Society of Civil Engineers, ASCE, 2019.
14. "Criteria for Accrediting Engineering Programs 2022-2023", ABET, Engineering Accreditation Commission, ABET, Accreditation Board of Engineering and Technology, USA, 2023.
15. "Trends in Adult Learning: New Data From the 2023 Survey of Adult Skills", *OECD Report*, 2024.
16. "Are Universities of the Past Still the Future?" E&Y, 2022.
17. "עקרונות למדיניות ופעילות לאומית בתחום הלימוד לאורך החיים", א. בנטור, נ. נמיר, דוח הוועדה לקשרי אקדמיה-משק במועצה הלאומית למו"פ אזורי, המולמ"פ, 2025
18. מידע אישי משיחות עם — Prof. Sanjay Sarma, Vice Provost for Open Learning MIT.

חינוך להנדסה בתכנון הנדסי: עשור של מנהיגות עם חזון במכללת אפקה

מיכל גשרי

מיכל גשרי עבדה בשיתוף פעולה הדוק עם פרופ' עמי מויאל במשך 16 שנה, בתחילה כבלשנית וחוקרת במרכז אפקה לעיבוד שפה, שהוא ייסד והוביל. במהלך העשור שלו כנשיא מכללת אפקה, היא הקימה והובילה את המחלקה לתקשורת פנים-ארגונית, ולאחר מכן שימשה כראש מטה ומנהלת פיתוח משאבים. בתפקידים אלה היא נחשפה לקבלת החלטות אסטרטגיות, תמכה בשינוי תרבותי, יצרה סיפור מוסדי פנימי וחיצוני וקידמה את האקוסיסטם לחינוך STEM של אפקה לאורך הרצף החינוכי.

במהלך העשור האחרון, אפקה - המכללה האקדמית להנדסה בתל אביב התפתחה ממוסד להכשרת מהנדסים צנוע למובילה לאומית בהשכלה גבוהה - מוכרת בזכות תהליך החינוך מבוסס-הכישורים שלה, הפדגוגיה החדשנית, התרבות השיתופית, חללי הקמפוס שעוצבו מחדש והתפקיד הפעיל בעיצוב מדיניות חינוכית. טרנספורמציה זו הונחתה על ידי חזון מובנה ויכולת לצפות שינויים הרבה לפני שהם התגלו לאחרים. מאמר זה בוחן כיצד התפתחה טרנספורמציה זו תחת המנהיגות בעלת החזון של פרופ' עמי מויאל, שיישם עקרונות של תכנון הנדסי לשינוי מוסדי ויצר גם מפת דרכים וגם תרבות שאימצה אותה. המאמר בוחן כיצד חזון ברור ומובנה, סיפור אסטרטגי, תרבות ארגונית מסתגלת ופלטפורמות למימוש תשוקות וחלומות פעלו ביחד מתוך ראיית נולד יוצאת דופן כדי למצב את אפקה לא רק כמוקד למצוינות אקדמית אלא גם כקול משפיע בעיצוב סדר היום הלאומי לחינוך STEM.

מבוא

כשפרופ' עמי מויאל נכנס לתפקיד נשיא מכללת אפקה להנדסה, הוא הביא עמו חשיבה של מהנדס ואת הניסיון שצבר כמנהל בכיר בהייטק - יותר מ-15 שנה בתעשייה, ממחקר דרך סמנכ"ל מו"פ ועד מנכ"ל. מה שמרשים הוא שהגישה שלו לשינוי מוסדי צמחה באופן טבעי מהרקע שלו, ללא כל כוונה מודעת ליישם מתודולוגיות הנדסיות במנהיגות אקדמית. התגובה האינטואיטיבית שלו לאתגרי הטרנספורמציה שיקפה את התהליך של תכנון מוצר מורכב: הגדרת התוצאה הרצויה תחילה, יצירת מסלולים להשגתה ושיפור מתמשך באמצעות משוב מהעולם האמיתי. הגישה ההנדסית הזו לא נולדה כתוכנית מכוונת, אלא כיישום טבעי ואינסטינקטיבי של ניסיונו המקצועי בתחום חדש.

התוצאה הרצויה או ה"התוצר" של אפקה נוסחה כדמות הבוגר של המכללה - הגדרה מפורטת של הידע,

הכישורים האישיים והערכים שכל בוגר אפקה צריך להחזיק בהם. דמות הבוגר נהפכה למצפן לטרנספורמציה של המכללה, והבטיחה שכל החלטה - בין אם אקדמית, תרבותית או תשתיתית - תהיה תואמת לה.

יישום החזון הזה לא הוגבל ליוזמה אחת או למהלך יחיד; הוא קרם עור וגידים במגוון תחומים שפעלו בתיאום זה עם זה. תוכניות לימודים עוצבו מחדש כך שכישורים אישיים לא ייחשבו עוד כתוצרי לוואי משניים אלא כתוצרי למידה מוגדרים, משולבים בכל קורס ומפותחים במיומנות גדלה לאורך התואר. במקביל הורחבו מסגרות הלמידה מחוץ לתוכנית הלימודים הרשמית, ויצרו עבור הסטודנטים הזדמנויות נוספות לפתח כישורים בתחומי החדשנות, היזמות, המעורבות החברתית והעבודה השיתופית.

חדשנות פדגוגית טופחה באמצעות קולות קוראים שנתיים להצעות, שבתחילה משכו רק הגשות מעטות. המאמצים המוקדמים קיבלו גיבוי מוסדי משמעותי - מימון, הכשרה ונראות - וכך עודדו אחרים ללכת בעקבותיהם. חללים פיזיים עוצבו מחדש כדי לשקף את הסביבות השיתופיות והגמישות של מקומות עבודה בהייטק, עם אזורי למידה פתוחים הפזורים ברחבי הקמפוס כדי לשמור אותו תוסס ופעיל לאורך כל היום. שותפויות עם התעשייה הנחו את דמות הבוגר עצמה, בעוד ששיתופי פעולה לאורך הרצף החינוכי של STEM - שקודמו במסמך "מתווה אפקה לחינוך STEM (2021)" - סייעו לעצב את המדיניות הלאומית.

מאמצים משולבים אלה לא היו רק מהלכים תפעוליים; הם היו רכיבים של מתודולוגיה מכוונת. המאמר בוחן את סגנון המנהיגות שגרם למתודולוגיה כזו לעבוד - כיצד חזון מובנה, סיפור, בניית תרבות וראיית נולד שולבו כדי להפוך תוצאה מוגדרת למציאות חיה.

יישום עקרונות תכנון הנדסי לטרנספורמציה של תהליך חינוכי

הרקע הייחודי של פרופ' מויאל - המשלב מומחיות הנדסית עם ניסיון ניהולי בהייטק - אפשר לו להתאים מתודולוגיה המשמשת בדרך כלל לתכנון מוצרים הנדסיים מורכבים לכדי כלי עוצמתי לשינוי חינוכי מערכתי. גישה חדשנית זו יישמה את תהליך התכנון ההנדסי בן ששת השלבים בטרנספורמציה מוסדית:

שאל: המכללה החלה בהגדרת שאלות יסודיות על המשימה החינוכית של אפקה: מה מגדיר את הבוגר האידיאלי שלנו? האם התהליך החינוכי הנוכחי שלנו מוביל ביעילות לתוצאה הרצויה הזו? שאלות יסוד אלה קבעו את הכיוון לטרנספורמציה.

דמיין: בהסתמך על התייעצות נרחבת עם גורמים בתעשייה ומחקר חינוכי, אפקה חזתה פרופיל בוגר מקיף הכולל ידע מדעי, כישורים אישיים וערכים מקצועיים - תבנית למה שבוגריה צריכים לגלם.

תכנן: במקום לחתור ליוזמות מבודדות, המוסד פיתח אסטרטגיה רב-ממדית המתייחסת לכל ההיבטים של החוויה החינוכית - מתוכנית לימודים ופדגוגיה ועד חללים פיזיים ותרבות ארגונית - והבטיח שכל הרכיבים עובדים יחד לקראת הגדרת פרופיל הבוגר.

צור: היישום חולל שינוי בכמה חזיתות בו-זמנית: עדכון תוכניות לימודים לשילוב כישורים כתוצרי למידה פורמליים, הקמת יחידות ייעודיות להנעת חדשנות, שינוי חללי הקמפוס וטיפוח שותפויות עם התעשייה.

נסה ושפר: אפקה אימצה תהליך מחזורי שבו ניסוי ושיפור היו בלתי נפרדים. אנשי סגל ניסו גישות חדשות, כשיוזמות ראשוניות נתמכו ותועדו בקפידה. כל ניסיון - בין אם מוצלח או לא - נתפס כמקור לתובנה, וכישלון אומץ כשיטת למידה בעלת ערך. מנגנוני שיפור מתמשך, כולל סקירות פורמליות, דיוני סגל ואיסוף נתונים הבטיחו שלקחים מכל ניסוי שולבו במהירות לתוך הפרקטיקה. גישה זו טיפלה בטרנספורמציה כמערכת דינמית, המשוכללת ומותאמת כל הזמן לצרכים המתעוררים ולא כסדרה קבועה של שינויים.

יישום שיטתי זה של עקרונות התכנון ההנדסי בשינוי מוסדי מייצג שינוי פרדיגמה במנהיגות האקדמית. בעוד שרפורמה אקדמית מסורתית לעיתים קרובות מתקדמת חלקית או מתמקדת בעיקר בהעברת ידע, האסטרטגיה של פרופ' מויאל טיפלה בכל התהליך החינוכי כמערכת משולבת שנועדה לייצר תוצאות ספציפיות. היעילות של מתודולוגיה זו ברורה מהטרנספורמציה הדרמטית של אפקה - עלייה מאלמוניות יחסית למנהיגות לאומית בחינוך להנדסה בתוך עשור.

מנועים פנימיים לשינוי

תובנה קריטית העולה מהגישה של פרופ' מויאל הייתה הצורך להקים מבנים ארגוניים ייעודיים שישמשו כמנועים המניעים את הטרנספורמציה מבפנים. יחידות אסטרטגיות אלה תוכננו להאיץ שינוי מעבר לגבולות מחלקתיים ולספק תנופה מתמשכת לאורך התהליך הרב-שנתי.

מחלקת התקשורת הפנים-ארגונית, שהוקמה בתחילת הטרנספורמציה, מילאה תפקיד מרכזי בטיפוח תרבות ארגונית מגובשת. במקום פשוט להפיץ מידע, יחידה זו יצרה נרטיב מוסדי שחיבר פעילויות יום-יומיות לחזון הגדול יותר. הצלחות נחגגו בפומבי, אתגרים טופלו בשקיפות, וכל תקשורת חידדה כיצד מאמצים אישיים תורמים למסע הקולקטיבי. מסר עקבי זה יצר שפה משותפת סביב הטרנספורמציה ועזר להתגבר על התנגדות ראשונית לשינוי.

המרכז לקידום הוראה הופיע כמנוע שינוי קריטי נוסף, שסיפק לסגל גם את התמיכה פרקטית וגם את המומחיות הפדגוגית הנדרשת לעיצוב מחדש של קורסים סביב פיתוח כישורים. על ידי קיום סדנאות, ייעוצים אישיים והענקת משאבים לשיטות הוראה חדשניות, המרכז נהפך לחממה לניסוי חינוכי. הוא יצר מרחב בטוח שבו אנשי סגל יכלו לפתח גישות חדשות, לקבל משוב ולשכלל את טכניקות ההוראה שלהם לפני יישומן בכיתה.

אולי הצעד החדשני ביותר היה הקמת מרכזי "אופק" לפיתוח מיומנויות, שסיפקו הזדמנויות מובנות לסטודנטים לבנות כישורים מחוץ לתוכנית הלימודים הפורמלית. מרכזים אלה - המתמקדים בתחומים כמו חדשנות, יזמות, מועדוני סטודנטים ומעורבות חברתית - יצרו סביבות למידה שבהן סטודנטים יכלו ליישם את הידע שלהם באתגרים בעולם האמיתי, תוך פיתוח הכישורים האישיים המודגשים בדמות הבוגר. רבות מהפעילויות הונהגו על ידי סטודנטים, מה שאיפשר למשתתפים לקחת בעלות על פרויקטים, לעסוק בשאיפות האישיות שלהם ולתרגם אותן לתוצאות מוחשיות. על ידי התייחסות ליוזמות חוץ-לימודיות כחוויות למידה מכוונות ולא כהסחות בלבד, אפקה הרחיבה את המשימה החינוכית שלה מעבר לכיתה והעצימה סטודנטים לצמוח גם כמהנדסים וגם כאינדיבידואלים.

למנועים פנימיים אלה היו מאפיינים משותפים שהפכו אותם לעילים: הם פעלו על פני גבולות מחלקתיים מסורתיים; הם שילבו תמיכה מעשית עם חזון אסטרטגי; והם יצרו קהילות שבהן רעיונות חדשים יכלו להתפתח, להיבדק ולהשתכלל. על ידי הקמת מבני שינוי ייעודיים אלה, פרופ' מויאל הבטיח שהטרנספורמציה לא תהיה תלויה רק במנהיגות שלו אלא תהיה משובצת בפעילות היום-יומית של המוסד. מבנים אלה תוכננו כדי להבטיח שהתהליכים והחידושים שהוצגו במהלך נשיאות זו ימשיכו להתפתח ולשגשג הרבה מעבר לה.

סיפור כאסטרטגיה

מימיה הראשונים של הטרנספורמציה, פרופ' מויאל הבין שכדי ששינוי ישתרש, הוא צריך להיות חלק מסיפור גדול יותר. רשימה של רפורמות מספקת מידע, אך נרטיב משכנע יכול לשמש השראה - ולעשות זאת על פני גבולות: באופן פנימי בקרב הסגל והצוות, ובאופן חיצוני אצל קובעי מדיניות ועמיתים.

כשתמך ביצירת מועצת STEM לאומית, הוא לא הציג את הרעיון כהמלצה עצמאית. במקום זאת, הוא סיפר סיפור של שינויים טכנולוגיים אקספוננציאליים, של הדרישות החדשות למהנדסים בכלכלה מונעת-AI ושל הפער הגדל בין הכישורים שבוגרים מחזיקים בהם לאלה שהתעשייה דורשת. הטרגדיה המרכזית של אפקה הוצגה כהוכחת היתכנות, המראה גם את הצורך וגם את האפשרות של שינוי.

שני מסמכי יסוד נהפכו לחלק מערכת הכלים הסיפורית הזו. "מתווה אפקה לחינוך STEM" (שפורסמה במקור ב-2021) הציגה אסטרטגיה לאומית להתאמת חינוך ה-STEM לצורכי שוק התעסוקה, כולל הצעות כמו מועצת STEM לאומית, שמאז זכתה לאישור ממשלתי. "הנחלת מיומנויות כחלק מתוצרי תהליך חינוך" פירט את התהליך שאפקה מימשה כדי להטמיע כישורים בתוכניות לימודים, והציע מפת דרכים שמוסדות אחרים יכלו להתאים לעצמם.

אסטרטגיית נרטיבית זו הורחבה לפלטפורמות ציבוריות. הפוסטים של פרופ' מויאל במדיה החברתית נוסחו לעיתים קרובות כמו מאמרי דעה - ברורים, ממוקדי הקשר ומונעי חזון. הם לא רק שיתפו את הישגי אפקה אלא מסגרו אותם כחלק מתנועה חינוכית רחבה יותר. אסטרטגיות יחסי הציבור המקומיות והבין-לאומיות של המכללה גם סבבו סביב מסר עקבי זה, ומיצבו את אפקה לא רק כמוסד חינוכי אלא כמובילת חשיבה בחינוך ההנדסי. הופעות בתקשורת, מצגות בכנסים ומאמרים שפורסמו חיזקו כולם אלמנטים נרטיביים מרכזיים: האופי המשתנה של עבודת ההנדסה, הצורך בגישה חינוכית הוליסטית יותר והתפקיד החלוצי של אפקה בפיתוחה.

על ידי תיאור הסיפור של אפקה באופן עקבי ומשכנע, פרופ' מויאל הצליח לבנות הסכמה לא רק בתוך המכללה, אלא ברחבי האקוסיסטם הלאומי של STEM, כמו גם במרחב הבין-לאומי, מה שהוביל להצלחה משמעותית בגיוס משאבים לקמפוס חדש שיאפשר לאפקה להרחיב את השפעתה ולהתקדם לצעד הבא בהיפכה לאחד ממנועי הצמיחה המרכזיים של ישראל, המחנכת מספר גדול של מהנדסים מצוינים מדי שנה.

שינוי תרבותי: אימוץ השינוי

השינויים המבניים באפקה הושאו לטרנספורמציה תרבותית עמוקה. אנשי סגל שפעם עבדו באופן מבודד החלו לשתף פעולה בקהילות פדגוגיות, כשהם חולקים שיטות, בודקים גישות חדשות ולומדים זה מזה. הוראה חדשנית לא הייתה עוד ניסוי שולי אלא חלק בולט ונתמך מהחיים האקדמיים, עם הכרה גלויה המחזקת את ערכה.

מניע אחד של שינוי תרבותי זה היה החשיבה המחודשת על חללי הלמידה והעבודה באפקה. פרופ' מויאל הבין שבוגרי אפקה יעבדו ככל הנראה בסביבות הייטק, ולכן הקמפוס תוכנן במכוון לשקף את העולם הזה - חללים פתוחים, עיצוב מודרני ואמנות קיר תוססת המציגה מדענים מההיסטוריה כדמויות עכשוויות עם ציטוטים מעוררי השראה. אזורי למידה פוזרו במכוון ברחבי הקמפוס - ולא הוגבלו לספרייה - כך שסטודנטים יכלו ללמוד באופן עצמאי או בקבוצות בין השיעורים. חללים אלה תמכו בפדגוגיה מבוססת פרויקטים וחוויתית, טיפחו שיתוף פעולה ועודדו סטודנטים להישאר בקמפוס, ויצרו נוכחות קבועה ואנרגטית שנהפכה לחלק מהזהות של אפקה.

ביטוי גלוי נוסף של שינוי תרבותי זה היה הקול הקורא לסגל להציע גישות פדגוגיות חדשות וחדשניות. הראשונים שאימצו אותן עודדו להתנסות, קיבלו תמיכה מוסדית והכרה על תרומתם. סיפורי ההצלחה שלהם היו השראה לעמיתים, ויצרו אפקט גלי שהטמיע חדשנות בתרבות ההוראה של המכללה.

תקשורת פנימית שנבנתה מן היסוד מילאה תפקיד מרכזי בחיבור הפעילות היום-יומית עם החזון הגדול יותר. הישגים מוסגרו כצעדים במסע האסטרטגי, וחיזקו תחושה של בעלות משותפת. ניוזלטר שבועי נהפך למרכיב בסיסי בתרבות של אפקה, בשומרו על הקהילה מעודכנת, מיושרת ומחוברת.

אפילו "כתב העת של אפקה להנדסה ומדע (AJES)", שעבורו נכתב מאמר זה, מגלם את הדגש של דמות הבוגר

על חשיבה בין-תחומית, ומפרסם מחקרים שמחברים הנדסה עם הקשרים חברתיים ומדעיים מגוונים.

פרופ' מויאל התייחס לאפקה כפלטפורמה למימוש חלומות. אם הצעה כלשהי הייתה תואמת לחזון, הייתה לה תוכנית מובנית ומדדי הצלחה ברורים, היא קיבלה משאבים ותמיכה - גם אם היא כללה סיכון. גישה זו ראתה בכישלון הזדמנות למידה, מעודדת יוזמה ולא זהירות. התוצאה הייתה תרבות ארגונית שלא רק ציפתה למצוינות, אלא גם אפשרה אותה. הגדלת סטנדרטים לא נכפתה מלמעלה ללא תמיכה - הם לוו בהשקעה שווה-ערך באנשים, בחללים ובכלים כדי להגיע אליהם.

לראות מעבר לשבע פינות

מנהיגות עם חזון מתוארת לעיתים קרובות כיכולת לראות מעבר לפינה. בעבודה עם פרופ' מויאל, התברר שהוא יכול לראות מעבר לשבע פינות - לצפות לא רק את הצעד הבא, אלא את רצף ההתפתחויות, התגובות וההשלכות שיבואו אחריו.

ראיית נולד זו הייתה ברורה גם בתכנון אסטרטגי ארוך טווח וגם בזמני משבר. השילוב של דמות הבוגר על פני תחומים מרובים תוכנן לא כסט של פרויקטים מבודדים, אלא כמערכת עמידה ואדפטיבית. כשנגיף הקורונה שיבש את ההשכלה הגבוהה, פרופ' מויאל התעקש שאפקה תפעל במהירות. בעוד שאחרים הסתמכו רק על כלי הוראה מרחוק זמניים, אפקה השקיעה בציוד כל כיתה בטכנולוגיית למידה היברידית מתקדמת עד קיץ 2020 - וכך התכוננה לחזרה הדרגתית וגמישה לקמפוס.

במהלך מלחמת חרבות ברזל, פרופ' מויאל התעקש שהמכללה תתכנן פתרונות שמכוונים לקיימות ארוכת טווח ולא לתיקונים זמניים. מאחר שיותר מ-40% מהסטודנטים משרתים במילואים, הפוטנציאל לנשירה היה ניכר. בהובלתו, אפקה פיתחה גישה מקיפה לגמישות שאפשרה לחיילי מילואים להמשיך בלימודיהם מבלי לפגוע בסטנדרטים האקדמיים. דוגמה אחת הייתה ההחלטה לחזור על כל הקורסים לאורך השנה, מה שאיפשר לסטודנטים החוזרים משירות להצטרף מחדש לתהליך הלמידה. על אף שזה מורכב מבחינה אדמיניסטרטיבית ותובעני מבחינה כספית, אמצעי זה ואחרים הבטיחו שחיילי המילואים קיבלו את התמיכה שהם צריכים תוך שמירה על השלמות והקפדנות של התוכניות האקדמיות של אפקה.

לאורך כהונתו, חילוקי דעות מקצועיים התעוררו לעיתים קרובות כי אחרים עדיין לא יכלו לראות את ההשלכות ארוכות הטווח של ההחלטות שנדונו, אך הרקורד שלו - כמי שרואה תמיד מעבר ל"שבע פינות קדימה" - אישר שוב ושוב את גישתו.

פלטפורמה למימוש תשוקות

בעשור האחרון, אפקה נהפכה למקום שבו רעיונות מתעצבים, ושבו סטודנטים, סגל וצוות יכולים להפוך תשוקות אישיות להישגים קונקרטיים. שינוי זה לא התחולל במקרה; הוא צמח מאסטרטגיה מכוונת בהובלת פרופ' מויאל ליצירת סביבה שמעצימה אנשים ליטול יוזמה, לחקור כיוונים חדשים ולקדם פרויקטים משלב הקונספט למציאות.

בעבור הסטודנטים, אפקה מציעה קרקע פורייה להפיכת תשוקה אישית להישג הנדסי. דרך מרכזי אופק לפיתוח מיומנויות ומועדונים בהובלת סטודנטים, הם משקעים את עצמם בפרויקטים המשלבים אתגר פרקטי עם יצירתיות ועבודת צוות. בין אם הם מתכננים ומריצים כלי רכב מותאמים אישית ב"מועדון הרכב" או מובילים מועדונים אחרים ממוקדי חדשנות, סטודנטים חווים את התהליך של מעבר מחזון לביצוע בסביבה שיתופית ותומכת.

גם אנשי סגל מוצאים באפקה מרחב לקידום השאיפות שלהם - בפיתוח פדגוגיה חדשנית, שילוב כישורים רלוונטיים לתעשייה בתוכניות לימודים וביצוע מחקר יישומי המתמודד עם אתגרים בעולם האמיתי. הם מקבלים

עידוד להתנסות בגישות חדשות, לעבוד על פני דיסציפלינות ולהתאים את היוזמות שלהם למשימה של אפקה - לייצר מהנדסים שהם גם בקיאים טכנולוגית וגם מיומנים אישית.

בעבור הצוות, המכללה נהפכה למקום שבו תפקידים מקצועיים מתרחבים מעבר לאחריות שגרתית. הם מוזמנים ליוזם פרויקטים שמחזקים את התרבות של אפקה, בונים שותפויות אסטרטגיות ומשפרים את השפעת המוסד מעבר לקמפוס שלו. רבים מצאו סיפוק מקצועי עמוק בקידום פרויקטים בעלי השפעה מתמשכת.

עבור פרופ' עמי מויאל עצמו, אפקה הייתה המימוש של חלום ארוך טווח שלו: להוביל מוסד ששונה מהותית בגישתו לחינוך - כזה שמייצר מהנדסים מצוינים ותוך כדי כך מאפשר לקהילה שלו לקדם את התשוקות והחלומות שלה. חזון זה חלחל לתרבות המוסד כולה, ומעצב את האופן שבו אפקה מגדירה הצלחה ומודדת השפעה.

סיכום: כוחם של חזון מובנה וראיית הנולד

הטרנספורמציה של אפקה במהלך העשור האחרון מדגימה מה אפשרי להשגה כאשר מוסד מיישם את הלוגיקה של תכנון הנדסי להתפתחות שלו עצמו - וכאשר תהליך תכנון זה מונהג על ידי מישהו שיש לו גם המשמעת להגדיר תוצאה וגם ראיית הנולד להסתגלות בהמשך, ושאינו חושש או מנסה להימנע מקונפליקט בדרך, אלא מאמץ אותו כחלק מהתהליך.

תחת מנהיגותו של פרופ' מויאל, דמות הבוגר והטרנספורמציה הנדרשת להשגתה נהפכו ליותר ממסמך גרידא; הם נהפכו לדנ"א של המכללה, ומעצבים תוכניות לימודים, תרבות, חללים, שותפויות ומעורבות ציבורית. היכולת לספר סיפור הפכה רפורמות פנימיות לדוגמה לאומית. תרבות של אמון, תמיכה ושאפתנות העצימה אנשים בכל הדרגים ואפשרה להם לתרום לחזון. בהבינו שטרנספורמציה אמיתית חייבת להימשך מעבר לכל מנהיג בודד, פרופ' מויאל גם הניח פלטפורמות חזקות לקיימות ארוכת טווח שהטמיעו שיפור מתמשך בדנ"א של אפקה.

היום, אפקה משמשת דוגמה חיה למה שניתן להשיג כאשר מוסד נהפך לפלטפורמה לקידום תשוקות וחלומות - לאינדיבידואלים בכל דרג ולארגון כולו.

עבור פרופ' עמי מויאל עצמו, אפקה הייתה מימוש החלום ארוך הטווח שלו: להוביל מוסד אקדמי מסוג אחר - המוסד המוביל בישראל להכשרת מהנדסים, הבנוי עם הדנ"א של ההייטק, המסוגל להשפיע על האג'נדה הלאומית, והמספק תהליך חינוכי רלוונטי, מעצים וחוויתיים. במהלך השנים, חזון זה נשזר במרקם התרבות של אפקה, ומשתקף בדמות הבוגר שלה, בשותפויות שלה עם התעשייה והממשלה, ובתפקידה בעיצוב מדיניות חינוך ה-STEM הלאומית. העשור של מנהיגות טרנספורמטיבית ובעלת חזון של פרופ' מויאל באפקה השפיע ללא ספק על מינוי כיו"ר הוועדה לתכנון ותקצוב של המועצה להשכלה גבוהה בישראל - התפקיד הגבוה ביותר במערכת ההשכלה הגבוהה של המדינה - וימשיך להנחות אותו בתפקיד החדש הזה.

מקורות

Afeka College of Engineering (2024, Originally published in 2021). *The Afeka Framework for STEM Education: Implementing Change in an Educational Process Using the Principles of Engineering Design*. <https://www.afeka.ac.il/en/about-afeka/overview/afeka-framework-for-stem-education>.

Afeka College of Engineering (2024). *Integrating Skills as Learning Outcomes of an Educational Process: From Theory to Practice*. <https://www.afeka.ac.il/en/community-relations/imparting-skills>.

השינויים המהותיים שנחוצים באקדמיה להכשרת מהנדסים במציאות המשתנה

בועז לוי

בועז לוי הוא מומחה ישראלי בעל שם עולמי בתחום הנדסת מערכות וטכנולוגיות חלל, ומכהן כיום כמנכ"ל התעשייה האווירית לישראל. ללוי ניסיון של יותר משלושה עשורים בעיצוב, פיתוח וניהול פרויקטים מורכבים בתחומי טילים, חלל ומערכות הגנה מתקדמות, והוא הוביל צוותים מקצועיים בפרויקטים לאומיים ובין-לאומיים רחבי היקף כמו מערכות "חץ" ו"ברק 8". בעל תארים בהנדסה מהטכניון ושירות צבאי בחיל האוויר, שילב בעבודתו הישגים טכנולוגיים עם ראייה ניהולית ועסקית חדשנית. בכהונתו כמנכ"ל תרם באופן מהותי לקידום החדשנות והמצוינות התעשייתית בישראל, ונחשב לאחת הדמויות הבולטות בעיצוב הביטחון והמדע המקומי והבין-לאומי.

המאמר עוסק בתפיסות חדשניות בהכשרת מהנדסים, בדגש על שילוב בין לימודי תיאוריה, פרקטיקה וחשיבה מערכתית. המחבר מדגיש את חשיבות החדשנות, היכולת להוביל צוותים ולשלב טכנולוגיות מתקדמות (כגון בינה מלאכותית) בתהליך ההכשרה. הדגש ניתן על "Time to Market", מיומנויות עבודה בסביבה רבת-תחומית ופרויקטים יישומיים, לצד טיפוח מצוינות והמשגת תפקיד המהנדס כמוביל ורב-תחומי. מטרת המאמר להציע מודל חינוכי עדכני למהנדסים המתאים לאתגרי התעשייה והמדע בישראל ובעולם.

ממש כמו השפעתן של מהפכות המחשבים והאינטרנט בשעתן, גם מהפכת הבינה המלאכותית של ימינו, והתפתחותה המואצת של הטכנולוגיה בכללה, מחייבות שינוי יסודי בדרכי ההכשרה האקדמית של מהנדסים. עיקרו של שינוי זה הינו מעבר לפיתוח חשיבה יצירתית, מנהיגות עסקית ויכולת להוביל לחדשנות – גם בתעשיות הביטחוניות וגם באזרחיות.

באקדמיה ניתן כיום דגש רב להיכרות עם ה"אמת ההנדסית" וללימוד כללים, חוקים ומתודולוגיות. אך כדי להשתלב בשוק העבודה הנוכחי, נדרש בעת הזאת לפתח ולשכלל את החשיבה ההנדסית שמבוססת על ראייה מערכתית, פתרון בעיות ושימוש מושכל בטכנולוגיות מתקדמות. זוהי גישה שונה בתכלית מזו שהובילה את ההכשרה האקדמית בעבר: פחות התמחות בשפות תכנות או בכלים מסוימים ויותר הבנה אינטגרטיבית של המערכת.

שני הפרמטרים המרכזיים שמגדירים את הצלחתו של המהנדס ואת הרלוונטיות של המוצרים שלו בשוק הנוכחי הם הזמן שלוקח להביא את המוצר לשוק, משלב הרעיון והתכנון ועד ליציאה לשוק (Time to Market) וכן העלות שלו. הניסיון מלמד כי מי שמסוגלים לקצר את משך הפיתוח ולהפחית עלויות הם בהכרח מי שובילו את השוק בעתיד – וזוהי כשלעצמה יכולת שמחייבת שינוי בתפיסת ההכשרה של המהנדסים.

במציאות הנוכחית, הבינה המלאכותית מעניקה למהנדסים כלים מתוחכמים בהרבה מבעבר. כך, במקום ללמוד שנים איך לכתוב קוד בשפות שונות, מספיק לדעת כיצד לנסח בקשה ברורה לכלי AI ולקבל את הפתרון המוכן. הדבר נכון גם לתכנון מכני ואלקטרוני, הרי שאם בעבר נדרשה מומחיות מקיפה כדי לתכנן גלגלי שיניים, כיום אפשר לקבל תכנון אופטימלי בתוך דקות בודדות.

לצד זאת חשוב לזכור כי המהפכה הזאת אינה הראשונה שחוללה שינויים דרמטיים במקצועות ההנדסה בפרט ובשוק העבודה בכלל. לפני כמה עשורים, כשהמחשבים הראשונים נכנסו לתעשייה, רבים חששו שהמהנדסים ייהפכו למיותרים. בפועל, המערכות נהפכו למורכבות יותר ומספר המהנדסים דווקא גדל. כך גם היום, להערכתנו, לא צפוי שיידרשו לתעשייה פחות מהנדסים, אלא שהם יעסקו במשימות מורכבות ומתוחכמות יותר.

ובהתאמה, השינוי הנדרש באקדמיה הוא משמעותי – במקום להתמקד בלימוד כלים ספציפיים ופתרון משוואות דיפרנציאליות, יש להתמקד בפיתוח חשיבה הנדסית. כיום, מהנדסים אינם פותרים משוואות בעצמם מכיוון שהמחשב עושה זאת בשבילם, אך המערכות החכמות אינן יכולות להוות תחליף ליצירתיות, לפתרון בעיות בצורה מושכלת או לפיתוח פתרונות חדשניים לצרכים קיימים.

הפער בין החשיבה המסורתית לגישות החדשניות

במציאות הנוכחית, נדרשים מהנדסים לדפוס חשיבה שונים מאלו שניכאו הצלחה בעבר. כדי להמחיש זאת, נתמקד באתגר שעלה בתעשייה האווירית כאשר הטמענו רכיבים שהודפסו בטכנולוגיית תלת-ממד בתוך לוויינים, במטרה להקטין את משקלם ולקצר את זמן הפיתוח.

בעוד שמהנדסים ותיקים תכננו את הרכיבים לפי עקרונות מסורתיים, תוך שהם מעניקים דגש משמעותי לחוזק מכני וליציבות, מהנדסים צעירים שלא הוגבלו לשיטות הוותיקות הציעו פתרונות מהפכניים: תכנונים חלולים, שימוש מינימלי בחומר וצורות גאומטריות מופשטות שהתאימו בצורה מדויקת יותר לצרכים החדשים. התוצאה הייתה מוצר שלא רק היה בעל משקל נמוך יותר, אלא גם זול יותר לייצור, מהיר יותר לפיתוח ובעל ביצועים משופרים.

זוהי רק דוגמה אחת לפער שהאקדמיה צריכה להידרש אליו – לא רק להכשיר מהנדסים שיידעו לבצע חישובים מסורתיים, אלא כאלה שמסוגלים לחשוב מחוץ לקופסה ולנצל לצורכיהם את כל הטכנולוגיות הזמינות.

אחד האתגרים המשמעותיים שמונחים לפתחנו בעת הנוכחית טמון בצורך להכין את המהנדסים לעבודה נכונה עם הטכנולוגיות החדשות. בתחום האלקטרוניקה, לדוגמה, היכולת להדפיס מעגלים תלת ממדיים עם רכיבים משולבים מאפשרת תכנונים שהיו בלתי אפשריים בעבר. זוהי מהפכה הנדסית אמיתית כי כיום המהנדס כמעט אינו כבול לדבר בכל הנוגע ליכולות הייצור והעיצוב. במילים אחרות: אם בעבר היה צריך להתחשב במגבלות של קווי ייצור או סטנדרטים מסוימים, היום המגבלות העיקריות הן במחיר ובזמן – ואלה שני פרמטרים שבהחלט אפשר לשלוט בהם בעזרת יצירתיות ותכנון מושכל.

מכיוון שהפער המרכזי בין ההכשרה האקדמית לצורכי התעשייה אינו במתמטיקה או בפיזיקה, אלא, כאמור, ביכולת החשיבה ההנדסית, ומכיוון שייעודו של המהנדס הינו להגדיר את המוצר הרצוי ולחשוב על הדרכים

הפיזיקליות הפשוטות ביותר להגיע אליו – מתחייב כי ההכשרה האקדמית תפתח במהנדסים-לעתיד יכולת ראייה מערכתית, כלומר הבנה של האופן שבו כל רכיב במוצר מתקשר עם הרכיבים האחרים והאופן שבו המוצר משתלב במערכת הגדולה יותר.

המהנדס כיום ומנהיג: הצורך במיומנויות עסקיות

מתוך כ-15 אלף עובדות ועובדי התעשייה האווירית, כ-7,500 הם מהנדסים ומהנדסות, וכל אחד מהם הוא, במידה רבה, יזם שצריך "למכור" את הרעיונות שלו לבעלי עניין מגוונים – משקיעים, מנהלים, עמיתים ולקוחות. מהנדסים מוצלחים הם גם אלה שיודעים להציג את החזון שלהם בצורה עסקית חכמה, ברורה ומשכנעת.

האקדמיה כיום עדיין אינה מכשירה מהנדסים לחשיבה עסקית מהסוג הזה. המשמעות לכך ברורה: מהנדסים שאינם יודעים להציג את המוצר שהם מתכננים או את החשיבה היזמית שלהם בצורה קוהרנטית, יצטרכו יותר זמן כדי לקדם את הקריירה שלהם, אפילו אם הידע שלהם נרחב והכישורים שלהם מצוינים.

בעת הנוכחית, כל מהנדסת ומהנדס הם מנהלי פרויקט פוטנציאליים וכל פרויקט דורש מיומנויות ניהול ומנהיגות. לכן, מצופה מהם לדעת להוביל צוותים רב-תחומיים, לתאם בין גורמים שונים ולקבל החלטות גם במצבי חוסר ודאות. אלה מיומנויות שהאקדמיה המסורתית כאמור אינה נותנת להם דגש מספק, אך הן קריטיות להצלחה בתעשייה המודרנית.

בשנים האחרונות חלה עלייה דרמטית בשיעור הנשים במקצועות הנדסיים – וכמובן שמדובר במגמה מבורכת והכרחית. אם בעבר מספר הנשים במקצועות הנדסיים "כבדים" היה נמוך, היום השיעור גדל באופן עקבי ומתמשך. נוסף על כך, מעבר לגידול במספר הנשים בתעשייה, ניכרת עלייה גם במספר המהנדסות שמגיעות לתפקידים בכירים ונהפכות למוקדי ידע בארגונים, לרבות בתעשייה האווירית.

התעשייה האווירית גאה להיות שותפה בשינוי הזה ולתרום להעצמתן של נשים בתפקידים הנדסיים בכירים. המציאות בשטח מראה מעל לכל ספק כי אין הבדל מהותי בין מהנדס למהנדסת ביכולותיהם המקצועיות, כאשר ההבדלים הקיימים נובעים בעיקר מהשפעות חברתיות ותרבותיות שכאמור הולכות ופוחתות.

התכונות הקריטיות להצלחה בעידן החדש

לצד השינויים הנדרשים בהכשרת מהנדסים באקדמיה, חשוב להדגיש כי למטען האישי ולתכונות האופי של המהנדסים עצמם יש משקל מכריע בהצלחה במקצוע. שתי תכונות אופי שכולטות בהקשר הזה הן סקרנות וראייה רחבה. הסקרנות היא זו שמניעה מהנדס לחפש פתרונות חדשים ולא להסתפק בפתרונות הקיימים, בעוד שהראייה הרחבה מוגדרת כיכולת להיות "T person" – אדם בעל ידע עמוק בתחום מסוים, לצד הבנה רחבה של תחומים נוספים וגם יכולת לראות את התמונה הכללית.

מהנדסים עם סקרנות וראייה רחבה גם מבינים כיצד התחום שלהם מתקשר עם תחומים אחרים ואיך לרתום ידע מתחומים אחרים לפתרון בעיות בתחום שלהם. היכולת להחזיק בידע מקצועי עמוק ולהבין את ההשלכות הכלכליות, החברתיות והטכנולוגיות של פתרון הנדסי – היא שהופכת מהנדס לעוגן משמעותי בתעשייה מורכבת ורב-תחומית.

בסופו של דבר, חשוב לזכור שמהפכת הבינה המלאכותית היא רק אחת ממהפכות טכנולוגיות רבות שהתעשייה

חוותה. נכון, הקפיצה שהיא תאפשר עשויה להיות משמעותית יותר, אך הדרך לצלוח אותה זהה ודורשת היערכות נכונה והתאמה של ההכשרה למציאות המשתנה.

האקדמיה חייבת לעבור מהכשרה שממוקדת בכלים טכניים להכשרה ששמה דגש רב יותר על חשיבה יצירתית, יכולות עסקיות ומנהיגות. מהנדסי ההווה – ולא רק מהנדסי העתיד – הם יזמים טכנולוגיים שמשלבים ידע מקצועי עמוק עם הבנה עסקית, יכולות מנהיגות וחזון אסטרטגי.

זהו תנאי הכרחי לעיצוב דור מהנדסים חדש שיכול להוביל את התעשייה הישראלית לעתיד מתקדם ולהבטיח את שימור עליונותה הטכנולוגית והביטחונית. במציאות שבה ישראל מתמודדת עם אתגרים ביטחוניים מורכבים, הצורך במהנדסים מובילים ויצירתיים הוא קריטי יותר מתמיד.



פרדוקס הפרסונליזציה: כיצד המרדף אחר "שוק של אדם אחד" בונה את "האני המאורגן"

פרי לוי

הכותבת, בעלת ניסיון של יותר מ-20 שנה בניהול עסקים, שיווק ואסטרטגיה דיגיטלית בארגונים מובילים, מתמחה בהובלת טרנספורמציה דיגיטלית מוכוונת-לקוח, פיתוח מערכות פרסונליזציה ויישום פתרונות חדשניים לניהול חוויית משתמש. לאורך הקריירה שלה שימשה בתפקידי ניהול בכירים בקבוצת שטראוס וכלמוביל, שם הובילה יוזמות דיגיטליות חדשניות ושיתופי פעולה בין-מחלקתיים, לצד הקמת סוכנות עצמאית לייעוץ בתחום הדאטה והדיגיטל. הרקע המקצועי שלה מקנה לה פרספקטיבה רחבה להבנת הפרדוקסים והאתגרים בשילוב טכנולוגיות AI ומערכות המלצה בארגונים, והוא מתבטא בניתוח יישומי וביקורתי של השפעתן על יחסי ארגון-לקוח בעידן הדיגיטלי.

המאמר בוחן כיצד טכנולוגיות חכמות ומערכות המלצה מבוססות בינה מלאכותית משנות את חוויית המשתמש בעידן הדיגיטלי: מצד אחד, הן מאפשרות התאמה אישית מיטבית המובילה למעורבות, נוחות וערך כלכלי; מצד שני, הן מגבירות סיכונים של סינון יתר (filter bubbles), אובדן גיוון, עייפות מקבלת החלטות והטיות אלגוריתמיות. המאמר מציג מודלים לאיזון בין פרסונליזציה לשימור ערכים אנושיים-חברתיים, ומציג אתגרים אתיים (הוגנות, פרטיות, עיצוב רגיש לערכים) לצד פתרונות רגולטוריים וטכנולוגיים עדכניים, תוך שימוש בדוגמאות מהשטח.

דיאלוג בין-דורי (סיפור בדוי)

שחר, בוגרת הנדסת תוכנה מאפקה, הגיעה נרגשת לבית סבתה, פסיכולוגית בפנסיה. "סבתא, תראי", היא אמרה והציגה לה את "CURA", אפליקציית הפודקאסטים שהקימה. "האלגוריתם לומד אותך ומגיש לך בדיוק את התוכן שתאהבי. זה הסוף לחיפושים המיותרים".

סבתה חייכה חיוך חם. "מרשים, יקירתי. זה מזכיר לי את 'ימי שלישי עם שוורץ'". שחר נראתה מבולבלת. "מי זה שוורץ?" "אה", צחקה סבתה, "היה לו דוכן תקליטים במרכז העיר. כל יום שלישי הייתי הולכת אליו, והוא היה אומר לי, 'רות, שמעתי משהו שתאהבי'. הוא הכיר את הטעם שלי, אבל לפעמים הוא היה מפתיע. 'זה לא בדיוק את', הוא היה אומר, 'אבל תני לזה צ'אנס'. ככה גיליתי את קולטריין. ככה כל השכונה גילתה את נינה סימון. שוורץ לא היה אלגוריתם, הוא היה אוצר קהילתי. הוא לא רק נתן לנו מה שרצינו, הוא עיצב את הטעם המשותף שלנו".

שחר הקשיבה, וההתרגשות שלה החלה להתחלף בהרהור עמוק. היא בנתה כלי מושלם להבנת האינדיבידואל, אבל מה לגבי החוויה המשותפת? האם CURA, ברוב תחומיה, יוצרת מיליוני עולמות תוכן אישיים ומבודדים, שבהם אף אחד לא מגלה את "נינה סימון" של הדור הבא ביחד?

באותו הרגע, שחר הבינה את פרדוקס הפרסונליזציה – הרדיפה אחר התאמה אישית מושלמת ("סופו של הממוצע") עלולה, מבלי להתכוון, לפרק את התרבות המשותפת שהופכת אותנו לחברה, ולכלוא כל אחד מאיתנו בתוך בועה נוחה של עצמו, ה"אני המאורגן".

ההבטחה הגדולה, מות הממוצע והמרדף אחר הפרט

החזון שהניע את שחר הוא אחת המהפכות העסקיות-טכנולוגיות העמוקות ביותר של זמננו. במשך יותר ממאה שנה, העולם פעל תחת פרדיגמת "עיצוב עבור הממוצע". כפי שטוען טוד רוז בספרו "סופו של הממוצע", הבעיה היא שהאדם הממוצע אינו משהו שאפשר לפגוש ברחוב – הוא תוצאה של חישוב (Rose, 2016). כך, מערכות רבות מחינוך ועד מוצרי צריכה בנו ופיתחו תוכניות לימוד ומוצרים עבור "האדם הממוצע", יצור מיתולוגי שאינו באמת קיים. התוצאה הייתה מערכות ומוצרים שלא התאימו לאף אחד באופן מושלם.

השאיפה לפרסונליזציה, המונעת על ידי טכנולוגיות דאטה ובינה מלאכותית, הציעה דרך מילוט. לראשונה בהיסטוריה, יכולנו לבנות מערכות שמתאימות את עצמן לאינדיבידואל. המעבר מהתמקדות במיחם הלקוחות (דמוגרפיה) להתמקדות במה הם עושים, רוצים ומרגישים (התנהגות והקשר) הוליד "שוק של אדם אחד".

ההבטחה היא עצומה. עולם יעיל, רלוונטי ואישי יותר. בעולם הזה, Nike אינה מוכרת רק נעליים, היא נהפכת למאמנת הכושר האישית שלך דרך אפליקציית הריצה שלה, Training Club (Nike, Inc., n.d.), שאוספת נתונים התנהגותיים ובתמורה מעניקה ערך בדמות תוכניות אימון. Stitch Fix אינה מנהלת חנות בגדים מסורתית, אלא דיאלוג מתמשך על סגנון עם כל לקוחה, תוך שימוש ב-AI ובסטייליסטים אנושיים (Stitch Fix, Inc., n.d.), כדי לגלות את העדפותיה הייחודיות. אמזון יוצרת מיליוני חלונות ראווה דיגיטליים מותאמים אישית, ונטפליקס אפילו מותאמת את עיצוב הפוסטרים לכל צופה (Netflix, Inc., n.d.).

זהו עולם שבו הטכנולוגיה מבינה אותנו לעומק וחוסכת לנו זמן ומאמץ קוגניטיבי. הצרכן מרגיש "נראה" ומוערך.

המנוע הכלכלי של גלגל התנופה

מה שהופך את המרדף אחר פרסונליזציה לעוצמתי כל כך אינו רק הפוטנציאל הטכנולוגי, אלא המודל הכלכלי שהוא מייצר, המכונה לעיתים "גלגל התנופה של הפרסונליזציה" (The Personalization Flywheel). זהו מעגל שמחזק את עצמו: ככל שמשתמשים יותר במוצר, הוא אוסף יותר נתונים שמשמשים לשיפור החוויה האישית, מה שגורם למשתמש להיות מעורב יותר, וחוזר חלילה. גלגל התנופה הזה יוצר "חפיר" כלכלי (Economic Moat) סביב חברות כמו נטפליקס וספוטיפיי. הכוונה ב"חפיר כלכלי" היא ליתרון תחרותי בר-קיימא, המגן על החברה מפני מתחרים, בדיוק כפי שחפיר המקיף טירה מגן עליה מפני פולשים. הנכס האמיתי שלהן אינו האלגוריתם עצמו, אלא נתוני המשתמשים שמזינים אותו (Zuboff, 2019).

המנגנון פועל כך:

1. **ערך ראשוני:** החברה מציעה מוצר או שירות עם ערך בסיסי, למשל, אפשרות להאזין לפודקאסטים ב-CURA.

2. **איסוף נתונים:** ככל שהמשתמש פעיל יותר, הוא מייצר יותר נתונים על העדפותיו והתנהגותו.

3. **שיפור המוצר:** הנתונים מוזנים לאלגוריתם, שמשפר את החוויה והופך אותה לאישית יותר (המלצות מדויקות יותר, ממשק מותאם).
4. **ערך מוסף:** החוויה המשופרת והאישית מספקת ערך רב יותר, והשירות מרגיש כאילו הוא "מבין" את המשתמש.
5. **מעורבות מוגברת:** כתוצאה מהערך המוסף, המשתמש מגביר את השימוש במוצר, מה שמוביל חזרה לאיסוף נתונים נוספים.

המחיר הנסתר: בנייתו של "האני המאורגן"

אך לכל הבטחה יש מחיר. הפרסונליזציה, ככלי, אינה ניטרלית. היא מונעת על ידי מטרות עסקיות, שלרוב מתעדפות "מעורבות" (Engagement) ו"זמן שימוש". כדי להשיג זאת, האלגוריתמים חוזים את מה שנרצה, כשמטרתם אינה בהכרח להרחיב את אופקינו, אלא למקסם את הסיכוי שנישאר פעילים בפלטפורמה.

כאן נוצרת "בועת הפילטר", מונח שטבע אלי פריזר בספרו "בועת הפילטר: מה האינטרנט מסתיר ממך" (Pariser, 2011). מונח זה הוא המנגנון הטכנולוגי האישני שמסנן את המידע שלנו, שלפיו האלגוריתמים מקיפים אותנו בגרסאות שונות של מה שאנחנו כבר אוהבים, מכירים ומאמינים בו, וכך פיד החדשות שלנו נהפך ל"חדר הדים", שבו רק דעותינו מושמעות בחזרה (Sunstein, 2001). והתוצאות? הן מרחיקות לכת:

- **אובדן הסרנדיפיות (Serendipity Loss).** אנו מאבדים את היכולת להיתקל במקרה במשהו שונה, מאתגר, שאולי ישנה את חיינו. ההמלצה האלגוריתמית מבטלת את "המקריית המזדמנת", שהייתה מקור חשוב ללמידה ולגילוי.

התנוונות שריר הבחירה. כשהבחירות הקשות נעשות עבורנו, אנו מאבדים את הביטחון לבחור בעצמנו. תופעה זו קשורה באופן הדוק לרעיון של "עייפות ההחלטה" (Decision Fatigue), שנחקר על ידי הפסיכולוג רוי באומייסטר (Baumeister et al., 1998). באומייסטר הראה שכוח הרצון הוא משאב מוגבל. האלגוריתמים מציעים לנו פתרון קסם למניעת עייפות זו, אך בטווח הארוך, ההישענות על "קבצים" אלה עלולה להוביל להתנוונות של "שריר" היכולת לקבל החלטות מודעות. תיאוריה זו נתונה במחלוקת מחקרית, אך ממשיכה לשמש כמודל שימושי להבנת ההשפעה המצטברת של עומס קוגניטיבי.

כלכלת תשומת הלב. כפי שמזהיר טריסטן האריס מ"המרכז לטכנולוגיה אנושית", המודל העסקי של רוב הפלטפורמות הופך את תשומת הלב שלנו למוצר (Harris & The Center for Humane Technology, n.d.). פיצ'רים כמו גלילה אינסופית וניגון אוטומטי מהונדסים כדי לנצל חולשות פסיכולוגיות ולגרום לנו להישאר מחוברים, לאו דווקא כדי להיות מאושרים יותר (Fogg, 2003).

חששות אלה מגובים במחקרים. מחקר של Adamic ו-Messing, Bakshy (2015) על פייסבוק מצא שאלגוריתמי המלצות אכן מפחיתים משמעותית את החשיפה לדעות מגוונות. מחקר אחר של Hosanagar ו-Fleder (2009) הראה שהמלצות מובילות ל"הומוגניזציה" של הטעם, כאשר אנשים עם העדפות שונות נהפכים לדומים יותר לאורך זמן.

התוצאה היא עולם שבו הטכנולוגיה אינה רק משרתת את רצונותינו הקיימים, אלא גם מעצבת את רצונותינו העתידיים באופן אקטיבי. היא סוללת עבורנו מסלולים נוחים, כמעט בלתי נראים, והמוח האנושי, שמתוכנת לחסוך באנרגיה, בוחר ללכת בהם. וכך, מבלי שנשים לב, האינדיבידואליות שהפרסונליזציה הבטיחה לשרת מתחילה להתכווץ לתוך פרופיל נתונים צפוי.

ארכיטקטורת הבחירה וההשפעה הכלכלית

מעבר להשפעה הפסיכולוגית, לפרסונליזציה יש השלכות כלכליות ישירות על הצרכן. היא מאפשרת לחברות ליישם טכניקות של "תמחור דינמי" (Dynamic Pricing), אסטרטגיה שבה המחיר של מוצר או שירות זהה אינו קבוע, אלא משתנה בזמן אמת מאדם לאדם. האלגוריתם מעריך את "הנכונות לשלם" של כל צרכן על בסיס היסטוריית הרכישות, מיקומו, ואפילו סוג המכשיר שממנו הוא גולש. למשל מחיר נסיעה ב-Uber או כרטיס טיסה יכולים להיות גבוהים יותר עבור משתמש שהאלגוריתם מזהה כ"נואש" יותר או בעל אמצעים רבים יותר. כך, משתמשי אפל עשויים לעיתים לראות מחירים גבוהים יותר.

הפרסונליזציה, אם כן, מציעה לנו לא רק מוצרים רלוונטיים יותר, היא גם עלולה לגרום לנו לשלם עליהם יותר באופן שמשרת את האינטרס של המוכר, לעיתים על חשבון שקיפות והוגנות.

הגמוניה תרבותית אלגוריתמית וכלכלת היוצרים

השפעת הפרסונליזציה חורגת מהצרכן ומטלטלת את עולמם של יוצרי תוכן, מוזיקאים, סופרים, עיתונאים ויוצרי וידאו. בעידן "שוורץ", כדי להצליח, יוצר היה צריך לשכנע מספר קטן של שומרי סף אנושיים. היום, כל יוצר ניצב בפני שומר סף אחד, ענק וכמעט בלתי ניתן לפיצוח, האלגוריתם. "המלך האלגוריתמי" מעדיף תכנים שניתן לסווג בקלות, שמתאימים לדפוסים קיימים ושמיצרים מעורבות מהירה.

היצרניות נהפכת לכפופה לאופטימיזציה. האלגוריתם מזהה טרנדים ומעצים אותם, מה שמוביל ל"הומוגניזציה" תרבותית, שבה המיינסטרים נהפך למרכזי עוד יותר. ובמילים פשוטות, כולם מתחילים להישמע ולהיראות דומים יותר, מכיוון שהם מכוונים לאותה מטרה אלגוריתמית. באופן אירוני, ישנו מתח מובנה אצל צרכנים צעירים (דור ה-Z), אשר מחד, מעלים על נס ערכים של אותנטיות וייחודיות, ומאידך, מושפעים עמוקות ונוטים לאמץ את הטרנדים האלגוריתמיים האחרונים בטיקטוק ובאינסטגרם.

התוצאה היא לחץ אדיר על יוצרים להתאים את עצמם למכונה:

- **אופטימיזציה על חשבון יצירתיות:** יוצרי יוטיוב מהנדסים את כותרות הסרטונים שלהם כך שיכילו מילות מפתח מדויקות. מוזיקאים מכניסים את הפזמון כבר בעשר השניות הראשונות של השיר, כי הם יודעים שזו נקודת הזמן שבה האלגוריתם של ספוטיפיי מחליט אם לדלג. סופרים כותבים עבור "מילות המפתח של אמזון".

- **תרבות הרימיקס והטרנדים:** אלגוריתם מזהה טרנד (ריקוד בטיקטוק, סגנון מוזיקלי מסוים) ומעצים אותו. כדי "לרכוב על הגל", יוצרים רבים ממהרים לייצר וריאציות על הטרנד הקיים במקום ליצור משהו חדש לחלוטין. התוצאה היא "הומוגניזציה" תרבותית, שבה המיינסטרים נהפך למרכזי עוד יותר וקשה יותר ליצירות פורצות דרך ושונות לצוף מעל פני השטח.

אי-שוויון כלכלי: בעוד שהפרסונליזציה מאפשרת ליוצרי נישא למצוא את הקהל המדויק שלהם, תופעה המכונה ה"זנב הארוך" (Anderson, 2006), היא גם יוצרת את כלכלת ה"כול או לא כלום", המקדמת את מה שכבר פופולרי ויוצרת לולאת חיזוק חיובית עבור כוכבים גדולים, בעוד יוצרים אחרים נאבקים על שאריות תשומת הלב.

מעבר לכך, מכיוון שרוב האלגוריתמים פותחו בעמק הסיליקון ומוזנים בנתונים מערביים, הם נוטים להעדיף תוכן בעל אסתטיקה, שפה ונורמות תרבותיות אמריקאיות או אירופאיות. התוצאה, לעיתים, היא שהפרסונליזציה עלולה להיהפך לכלי של גלובליזציה תרבותית שבו נרטיבים וסגנונות מקומיים ותרבותיים נדחקים לשוליים או אינם זוכים לחשיפה כלל.

הדילמה עבור היוצר המודרני היא קיומית: האם ליצור את האמנות שהם מאמינים בה או את האמנות שהאלגוריתם יקדם? המגמה אף מחריפה עם כניסת הבינה המלאכותית הגנרטיבית (GenAI) שמאפשרת יצירת אין-סוף וריאציות על הנוסחאות המוכרות והמצליחות, ומאיימת לדחוק עוד יותר יצירות אנושיות מקוריות.

מעבר לבועה: ההשפעות החברתיות והנירולוגיות

ההשפעה אינה מסתכמת רק בחוויה האישית, אלא גולשת להשלכות חברתיות ונירולוגיות רחבות. מבחינה חברתית, בועות הפילטר מחריפות את הקיטוב. כאשר קבוצות שונות בחברה צורכות גרסאות שונות של המציאות, המכנה המשותף התרבותי והעובדתי נשחק, והשיח הציבורי נהפך ל"שיח חירשים" (Sunstein, 2001). זוהי סכנה ממשית ליסודות הדמוקרטיה המבוססת על שוק רעיונות פתוח, ועל בסיס עובדתי משותף נהפכת למאמנת. זוכרים את "שוורץ"? הוא היה "מדורת השבט" של השכונה. היום, יש לנו מיליארדי מדורות אישיות, וקשה יותר ויותר למצוא את המדורה המשותפת.

מבחינה ניירולוגית, הפרסונליזציה רותמת את עקרון הניירו-פלסטיות, היכולת של המוח ליצור ולחזק קשרים עצביים על בסיס התנסויות חוזרות. בכל פעם שאנחנו צורכים תוכן מסוג מסוים, "השביל העצבי" במוחנו הקשור אליו מתחזק. האלגוריתמים, על ידי הצגה חוזרת ונשנית של תוכן דומה, למעשה סוללים ומהדקים את "השבילים העצביים" במוחנו. כתוצאה מכך, סטייה מהשביל המוכר דורשת מאמץ קוגניטיבי גדול יותר. אך חשוב לזכור, הניירו-פלסטיות פועלת לשני הכיוונים, כשם שהמוח יכול ללמוד דפוסים מגבילים, כך הוא יכול, במאמץ מודע, ליצור שבילים חדשים ולשבור הרגלים ישנים.

דילמת ההטיות האלגוריתמיות (Algorithmic Bias)

שאלה קריטית נוספת היא שאלת ההטיות. אלגוריתמים לומדים מנתוני העבר, ואם אלה משקפים הטיות חברתיות קיימות, האלגוריתם לא רק ישכפל אותן אלא יעצים אותן. לדוגמה, אם אלגוריתם גיוס עובדים "לומד" מהיסטוריית הגיוסים בחברה שרוב המהנדסים הם גברים, הוא עלול להסיק שגברים הם מועמדים טובים יותר ולהתחיל לסנן באופן שיטתי קורות חיים של נשים. באופן דומה, מחקרים כמו "Gender Shades" הראו שאלגוריתמים של זיהוי פנים הוכחו כמדויקים פחות בזיהוי פנים של נשים כהות עור, כתוצאה של מאגרי אימון לא מגוונים מבחינת גזע ומגדר (Buolamwini & Gebre, 2018), ולא דווקא של כשלים טכנולוגיים כשלעצמם. התוצאה מדגישה כיצד דאטה מוטת עלולה להוביל לפגיעה באוכלוסיות שלמות. האחריות של המהנדס אינה רק לבנות מודל מדויק, אלא גם לבחון באופן אקטיבי את הנתונים שעליהם הוא מתאמן, לזהות הטיות פוטנציאליות ולתקן אותן. אחרת, הפרסונליזציה עלולה להיהפך למנוע של אפליה ממוכנת.

נקודת ההתנגשות: האחריות של מעצבי החוויה הדיגיטלית

האחריות להתמודד עם פרדוקס הפרסונליזציה אינה מוטלת רק על רגולציה או תעשייה, אלא גם, ואולי בעיקר, על מי שמתכננים את הטכנולוגיות עצמן – מהנדסים, מעצבי חוויות, מפתחי אלגוריתמים ואנשי דאטה. הם מעצבי החוויה הדיגיטלית, ולכן גם מחזיקים בכוח ובאחריות לקבוע את חוקי המשחק.

כבר כיום יש ניצנים של שינוי – מיזמים שמבקשים להכניס מדדים אתיים למדדי הצלחה עסקיים, חברות שמגדירות מחדש את יחס ההמרה בין זמן מסך לרווח, או מוסדות אקדמיים שמכניסים קורסים באתיקה של AI. אפילו בתאגידים כמו מייקרוסופט, Salesforce או גוגל, מתחילים להיבחן מדדים משלימים להצלחה כמו Wellbeing Index או Trust Scores כדי לאמוד לא רק כמה טוב האלגוריתם מוכר, אלא גם מהי ההשפעה ארוכת הטווח שלו על המשתמשים.

הדילמה אינה טכנולוגית, אלא אתית במהותה. היא באה לידי ביטוי בשאלות קונקרטיות שצוותי פיתוח חייבים לשאול את עצמם:

- מהו מדד ההצלחה שלנו? האם אנחנו מודדים רק "זמן שימוש" ו"שיעור קליקים", או שאנחנו מנסים למדוד מושגים מורכבים יותר כמו "רווחה נפשית", "הרחבת אופקים", או "צמיחה אישית?"
- כיצד אנו מאזנים בין פרסונליזציה לסרנדיפיות? האם נוכל להנדס בכוונה "המלצות מפתיעות?", האם אנחנו יכולים להקצות 10%-15% מההמלצות שלנו לתכנים שמאתגרים את פרופיל המשתמש?
- כמה שקיפות ושליטה אנו מציעים? האם המשתמש מבין מדוע הוא רואה מה שהוא רואה ויכול "לכוונן" את האלגוריתם?
- היכן עובר הגבול בין שכנוע למניפולציה? האם השימוש שלנו בנתונים נועד לעזור למשתמש לקבל החלטה טובה יותר עבורו או לגרום לו לקבל את ההחלטה שאנחנו רוצים שהוא יקבל?
- איך אנחנו מתמודדים עם חדשות מזויפות ותוכן מזיק? איך אנחנו מבטיחים שהמידע שהמשתמש מקבל הוא מדויק ומאוזן?

אל מעבר לדילמה: מסגרות פעולה אתיות

התמודדות עם שאלות אלה דורשת השכלה שאינה רק טכנית, אלא גם הומניסטית ואתית. מהנדס העתיד חייב להבין לא רק איך לבנות את המערכת, אלא גם את השפעתה הפסיכולוגית, החברתית והתרבותית, ולהיות לא רק פותר בעיות אלא גם שומר סף אתי. זהו אתגר שדורש הכשרה רב-תחומית שכוללת פסיכולוגיה, סוציולוגיה, פילוסופיה ואתיקה, לצד כישורים טכניים מתקדמים.

התשובה לאתגרים אלה אינה יכולה להישאר ברמה התיאורטית. בעולם הטכנולוגי מתפתחות כיום מסגרות מעשיות להתמודדות עם הדילמות האתיות. חברות מתקדמות מתחילות לאמץ מודלים כמו "עיצוב מודע-ערכים" (Value Sensitive Design), מתודולוגיה הדורשת להגדיר ערכים אנושיים (כמו פרטיות ואוטונומיה) כבר בתחילת תהליך האפיון, ולהבטיח שהטכנולוגיה תוכננה לקדם אותם, ולא רק לעמוד ביעדים עסקיים (Friedman et al., 2008).

נוסף על כך, עולה החשיבות של תפקידים חדשים בארגון, כמו "אתיקן/ית ארגוני/ת", שתפקידם לשמש כ"מצפון" של צוות הפיתוח, לאתגר הנחות יסוד, ולבצע "בדיקות השפעה אתיות" (Ethical Impact Assessments) לפני השקת פיצ'רים חדשים. עם השאלות הנשאלות על ידם נמנות, "מהן ההשלכות הבלתי מכוונות של הפיצ'ר הזה? מי עלול להיפגע ממנו? כיצד ניתן לנצל אותו לרעה?".

הטמעת מסגרות ובעלי תפקידים כאלה היא הדרך לתרגם את הדיון האתי משאלות ערטילאיות לתהליכי עבודה קונקרטיים, ולהבטיח שהאחריות אינה "נופלת בין הכיסאות".

לנווט את הפרדוקס: בניית עתיד דיגיטלי אחראי

הפתרון לפרדוקס הפרסונליזציה אינו בבחירה בין "סוף הממוצע" לבין "האני המאורגן", אלא בשילוב מושכל בין שניהם. עלינו לשאוף לטכנולוגיה שמבינה אותנו מספיק כדי להיות מועילה, אך מכבדת אותנו מספיק כדי להשאיר לנו מרחב לבחירה, לטעות ולגלות. הדרך קדימה מורכבת משני מסלולים מקבילים:

1. "מינינדפולנס דיגיטלי" אישי. עלינו לפתח מודעות לדרך שבה הטכנולוגיה משפיעה עלינו. עלינו לעבור מצריכה פסיבית לשימוש אקטיבי ומודע, הכולל גיוון מכוון של מקורות מידע, לקיחת שליטה על הגדרות, צרכנות מודעת ("למה אני רואה את זה?"), ושמירה על מרחבים "אנלוגיים", שאינם מתווכים דיגיטליים, כמו

שיחה פנים אל פנים, טיול בטבע, קריאת ספר מודפס, ובכך לאפשר למוח מנוחה מהגירויים האלגוריתמיים.

2. "פרסונליזציה אחראית" כסטנדרט תעשייתי. כיוצרים ומפתחים, עלינו לבנות טוב יותר. המשמעות היא לאמץ עקרונות של:

- שקיפות אקטיבית – להסביר למשתמש בשפה ברורה איך האלגוריתם עובד, לא רק באמצעות מסמכי מדיניות ארוכים אלא בממשק עצמו.
- שליטה משמעותית – לתת למשתמש "רגולטורים" אמיתיים לכוון את החוויה שלו. למשל, ויסות בין נוחות לאתגר, בין חדשנות לביטחון ובין גיוון לרלוונטיות.
- ערך הדדי אמיתי – לוודא שהמשתמש מקבל ערך מדיד שמשפר את חייו, לא רק שומר אותו "מעורב".
- גיוון מכוון – להטמיע מנגנונים שבכוונה חושפים את המשתמש לתכנים ורעיונות שהוא לא היה בוחר בהם מעצמו, אך שעשויים להעשיר אותו.

רגולציה חכמה. ייתכן שהסתמכות על רצונן הטוב של חברות ועל מודעות המשתמשים לא תספיק. ממשלות ברחבי העולם, ובמיוחד באירופה (עם חוקי ה-GDPR וה-Digital Services Act), מתחילות להבין שיש צורך ברגולציה. רגולציה זו אינה צריכה לחנוק חדשנות, אלא לקבוע קווים אדומים ברורים. למשל, ניתן לחייב פלטפורמות להציע למשתמשים גרסה כרונולוגית ולא-אלגוריתמית של הפיד שלהם, לדרוש שקיפות מלאה על אופן פעולת מנועי ההמלצה או לאסור על שיטות "פסיכולוגיה חשוכה" (Gray et al., 2018) Dark Patterns.

החלופה של האוצרות האנושית

האם קיימות חלופות מעשיות למודל הפרסונליזציה הטהור? התשובה היא כן. קחו לדוגמה את שירות הסטרימינג MUBI. בניגוד לנטפליקס שלה קטלוג כמעט אין-סופי, MUBI מציע בכל רגע נתון רק 30 סרטים. בכל יום, סרט אחד יוצא וסרט חדש אחד נכנס, והבחירה נעשית על ידי צוות של אוצרים אנושיים, מומחי קולנוע. המודל שלהם אינו מבוסס על "מה עוד תרצה לראות שדומה למה שכבר ראית?", אלא על אמירה ברורה, "זה הסרט שאנחנו חושבים שכדאי לך לראות היום". המודל הזה מחזיר את האמון במומחיות האנושית, יוצר חוויה משותפת (כולם מדברים על "סרט היום"), ומעודד צפייה הרפתקנית. MUBI וכן כלים כמו Readwise, המאפשרים למשתמשים לגלות קטעים באופן אקראי מתוך ספריית הקריאה שלהם, מוכיחים שאפשר לבנות מודלים עסקיים מצליחים המבוססים על "פחות אבל יותר טוב", ושקיים קהל גדול הצמא לאוצרות אנושית ולא רק להתאמה אלגוריתמית.

החזון אינו עולם ללא אלגוריתמים, אלא עולם שבו אנו רותמים אותם באופן מודע; עתיד שבו שחר, מייסדת CURA, מטמיעה במוצר שלה "מצב גילוי", ועתיד שבו נטפליקס תאפשר לנו ללחוץ על כפתור "הפתע אותי באמת" ותציג לנו סרט שחור-לבן של הבמאי היפני יסוג'ירו אוזו. זהו עתיד שבו הפרסונליזציה אינה משמשת רק כמראה המחזירה לנו את דמותנו המוכרת, אלא כחלון הפותח בפנינו אפשרויות שטרם חקרנו. האתגר וההזדמנות הגדולה של הדור הבא של המהנדסים, המפתחים והיזמים, אינם רק לבנות כלים שיבינו את האדם כמו שהוא היום, אלא ליצור כלים שיעזרו לו לגלות את כל מה שהוא עדיין לא יודע שהוא יכול להיות.

שלוש נקודות ליישום

1. הכירו את הפרדוקס: הטכנולוגיה המאפשרת פרסונליזציה עסקית מדהימה ("סוף הממוצע") היא אותה טכנולוגיה שעלולה ליצור "בועות פילטר" ולצמצם את האוטונומיה והגיוון האישי ("האני המאורגן"). הבנת המתח הזה, והכרתו כאתגר שדורש פתרון מודע, היא הצעד הראשון לבניית טכנולוגיה אחראית.

2. האחריות היא על האדריכלים: למהנדסים, למפתחים וליזמים יש אחריות אתית לבניית מערכות שמכבדות

את המשתמש כאדם מורכב ומתפתח. יש למדוד הצלחה לא רק במעורבות ובזמן שימוש, אלא בערך אמיתי לחייהם של אנשים, ולשלב עקרונות של שקיפות, שליטה וגיוון מכוון.

3. **אמצו גישה פרואקטיבית (כמשתמשים וכמהנדסים):** כמשתמשים, עלינו לצרוך תוכן באופן מודע ואקטיבי. כמהנדסים, עלינו לשאוף להנדס מערכות שמאפשרות לא רק התאמה, אלא גם גילוי, הפתעה וצמיחה אישית.

- Anderson, C. (2006). *The Long Tail: Why the Future of Business is Selling Less of More*. Hyperion.
- Bakshy, E., Messing, S., & Adamic, L. A. (2015). "Exposure to Ideologically Diverse News and Opinion on Facebook". *Science*, 348(6239), 1130–1132. <https://doi.org/10.1126/science.aaa1160>.
- Baumeister, R. F., Bratslavsky, E., Muraven, M., & Tice, D. M. (1998). "Ego Depletion: Is the Active Self a Limited Resource?". *Journal of PerCURALity and Social Psychology*, 74(5), 1252–1265. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.74.5.1252>.
- Buolamwini, J., & Gebru, T. (2018). "Gender Shades: Intersectional Accuracy Disparities in Commercial Gender Classification". *Proceedings of Machine Learning Research*, 81, 77–91. <https://proceedings.mlr.press/v81/buolamwini18a.html>.
- Fleder, D., & Hosanagar, K. (2009). "Blockbuster Culture's Next Rise or Fall: The Impact of Recommender Systems on Sales Diversity". *Management Science*, 55(5), 697–712. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1080.0974>.
- Fogg, B. J. (2003). *Persuasive Technology: Using Computers to Change What We Think and Do*. Morgan Kaufmann.
- Friedman, B., Kahn, P. H., & Borning, A. (2008). "Value Sensitive Design and Information Systems". In K. E. Himma & H. T. Tavani (Eds.), *The Handbook of Information and Computer Ethics* (pp. 69–101). Wiley.
- Gray, C. M., Kou, Y., Battles, B., Hoggatt, J., & Toombs, A. L. (2018). "The Dark (Patterns) Side of UX Design". In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1–14). ACM. <https://doi.org/10.1145/3173574.3174108>.
- Harris, T., & The Center for Humane Technology. (n.d.). *Home*. Retrieved July 29, 2025, from <https://www.humanetech.com/>.
- MUBI. (n.d.). *About MUBI*. Retrieved July 29, 2025, from <https://mubi.com/about>.
- Netflix, Inc. (n.d.). *Artwork PerCURALization at Netflix*. The Netflix Tech Blog. Retrieved July 29, 2025, from <https://netflixtechblog.com/artwork-perCURALization-c589f074ad76>.
- Nike, Inc. (n.d.). *Nike Training Club App*. Retrieved July 29, 2025, from <https://www.nike.com/ntc-app>.
- Pariser, E. (2011). *The Filter Bubble: What the Internet Is Hiding from You*. Penguin UK.
- Readwise. (n.d.). *Home*. Retrieved July 29, 2025, from <https://readwise.io>.
- Rose, T. (2016). *The End of Average: How We Succeed in a World That Values Sameness*. HarperOne.
- Stitch Fix, Inc. (n.d.). *Algorithms Tour*. Stitch Fix Technology — Multithreaded. Retrieved July 29, 2025, from <https://multithreaded.stitchfix.com/algorithms/>.
- Sunstein, C. R. (2001). *Republic.com*. Princeton University Press.
- Zuboff, S. (2019). *The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power*. PublicAffairs.

קופון אקדמי: הדרך לשיקום מהיר ואפקטיבי של מצבת המהנדסים והטכנולוגים במדינת ישראל

אהוד מניפז

אהוד מניפז הוא פרופסור אמריטוס, מומחה רב-תחומי בעל שם עולמי בניהול, הנדסה וחדשנות. הוא כיהן כדיקן הפקולטה להנדסת תעשייה וניהול במכון הטכנולוגי חולון (HIT), היה ראש הקתדרה ליזמות על שם אייב וסול קרוק באוניברסיטת בן גוריון, וייסד מרכזים אקדמיים מובילים לעסקים, טכנולוגיה וחברה. מניפז חבר ועדות בין-לאומיות, עורך מדעי, וחתן פרסי מצוינות אקדמית ומנהיגות עולמית. ייעץ לארגונים בין-לאומיים ותמך בקידום יזמות וחדשנות בעשרות מדינות. בין תפקידיו: דירקטור מייסד בארגון יזמים צעירים ישראל, יועץ לממשלות ולתעשיות, ועמית פורומים כלכליים מובילים בעולם.

המאמר עוסק באתגרים המרכזיים של ההשכלה הגבוהה בעידן הנוכחי, במיוחד בתחום ההנדסה והניהול, ומתאר מגמות ושינויים שדורשים תגובה מערכתית, חדשנית ורב-תחומית מצד המוסדות והחוקרים. המאמר דן בהשפעות הטכנולוגיה, הגלובליזציה והמשבר הדמוגרפי על מערכת ההשכלה, ומציע מודלים של משיכה ודחיפה ("Push & Pull") לפיתוח ידע, מצוינות והכשרת מנהיגים טכנולוגיים לשוק משתנה. מסקנותיו מדגישות את החשיבות של חשיבה יזמית, התאמת תכנים וגישות הוראה, והקשר ההדוק בין אקדמיה לתעשייה ולחברה.

בשנים האחרונות הולכת ומתבהרת ההבנה כי הכשרת מהנדסים בישראל מצויה בצומת דרכים הדורש חשיבה חדשנית, רדיקלית לעיתים, שתתאים לאתגרים של המאה ה-21. לא מדובר רק בעדכון תכניות לימודים או שילוב טכנולוגיות הוראה מתקדמות, אלא בשינוי פרדיגמה כולל לגבי הדרך בה צעירות וצעירים רוכשים השכלה הנדסית.

ההיסטוריה של החינוך ההנדסי בישראל רצופה יוזמות ציוניות מרשימות. כבר בתחילת המאה ה-20, הרבה לפני קום המדינה, נוסד הטכניון בחיפה ביוזמת אישים חזוניים דוגמת ד"ר פאול נתן, דוד ויסוצקי ואחד העם. בהמשך נוסדו מוסדות נוספים, ובהם האוניברסיטה העברית בירושלים ומכון ויצמן למדע ברחובות. מוסדות אלו הניחו את התשתית להקמת מערכת ההשכלה הגבוהה בישראל, שבמשך השנים התרחבה לכדי עשרות מוסדות אקדמיים – אוניברסיטאות מחקר, מכללות ציבוריות ופרטיות ומוסדות טכנולוגיים יישומיים.

אולם בשנת 2022, לאחר יותר ממאה שנים של פיתוח מוסדי וצבירת ידע, עולה צורך גובר במהפכה חינוכית:

מעבר מדגם הוראה לינארי, קבוע וקשיח למערכת גמישה, מודולרית ואישית, שבה הסטודנט יכול לשלב למידה עם מימוש יוזמות עסקיות וטכנולוגיות, תעסוקה רלוונטית או מחקר יישומי בזמן אמת.

הצורך בגמישות והמציאות התעסוקתית

בפורומים מקצועיים ובהמלצות ועדות אקדמיות רבות מצוין שוב ושוב כי המודל המסורתי של תוכנית לימודים בת ארבע שנים, המועברת בגישה חד-כיוונית ("Push") מהמרצה לסטודנט, כבר אינו תואם את הצרכים המשתנים של המשק או של הסטודנטיות והסטודנטים עצמם.

המציאות מלמדת כי בין 30% ל-40% מהסטודנטים עובדים כבר במהלך הלימודים, וחלק משמעותי מהם מעוניינים בעבודה במקצוע הנלמד – דבר המייצר צורך בממשק הדוק יותר בין האקדמיה לתעשייה כבר מהשלבים הראשונים של הלימודים.

מכאן עולה פתרון יצירתי, פרגמטי, וחדשני – "הקופון האקדמי".

הקופון האקדמי: עקרונות והצעה מעשית

הקופון האקדמי הוא תוכנית להנגשת השכלה אקדמית בתחומי ההנדסה והטכנולוגיה באופן מודולרי, הדרגתי, מותאם אישית וללא מחויבות ליניארית מיידית. במודל זה, מועמדים בעלי נתונים מתאימים יקבלו קופון אישי, בדומה לשובר, שמאפשר להם ללמוד בכל מוסד שיבחרו מתוך רשימת מוסדות משתתפים – ובטווח זמן של עד עשר שנים.

עיקרי המודל:

1. קופון מותנה התאמה – יינתן למועמדים בעלי פוטנציאל גבוה בתחומי ההנדסה והטכנולוגיה.
2. תקופת מימוש ארוכה – עשר שנים למימוש מלא או חלקי של הקופון, כולל אפשרות למימוש לסירוגין.
3. אפשרות ליציאה לחל"ת יזמי או תעסוקתי – הסטודנטים יוכלו לקחת הפסקות יוזמות לצורך עבודה רלוונטית, פיתוח מיזם או מימוש פטנט – בהתראה בלבד, ללא צורך באישור.
4. חזרה גמישה ללימודים – ניתן לחזור ללימודים בכל מוסד משתתף, גם אם זה שונה מהמוסד שבו החלו הלימודים.
5. זכאות לתואר – תוענק בהתאם למוסד שבו השלימו הסטודנטים את מרבית לימודיהם, או לפי כללים שיוגדרו מראש.

גישת Pull – חינוך לפי דרישה

הקופון האקדמי תומך בגישת "Pull": הלמידה מונעת לפי הצורך של הסטודנטים או המעסיקים, ולא לפי מבנה דידקטי קבוע. במודל זה, הסטודנטים הם אקטיביים – שואפים, בוחרים, בונים מסלול אישי. הם אינם נדחפים למסלול קבוע אלא מושכים את הידע הרלוונטי להם בזמן המתאים.

גישה זו עונה על דרישות המעסיקים, אשר פעמים רבות אינם דורשים תואר אקדמי פורמלי אלא ידע מעשי עדכני, גמישות מחשבתית וניסיון אמיתי – כולם תוצרים ישירים של מערכת גמישה, מעודדת יוזמה ומותאמת-שוק.

שיחות עם קהילות היי-טק ישראליות מלמדות על התלהבות מהרעיון. יזמים ברחבי הארץ – משדרות רוטשילד ועד פארק מת"מ בחיפה – רואים בקופון האקדמי מנוע להאצת פיתוח טכנולוגי, להפחתת חסם הכניסה לאקדמיה ולחיזוק הקשר בין השכלה, חדשנות ותעסוקה.

גם מנהלים ומהנדסים בחברות כמו אינטל, אלביט, ורפאל הביעו עניין רב. לטענתם, הגישה מאפשרת פיתוח כישרונות צעירים שאינם מצליחים להשתלב במסגרות הקיימות בשל מחויבויות אישיות, כלכליות או יזמיות.

סיכום

הקופון האקדמי מציע רפורמה משמעותית, פרקטית, עם פוטנציאל לשנות מן היסוד את הכשרת המהנדסים בישראל. המודל אינו מבטל את האקדמיה, אלא מחזק את הרלוונטיות שלה – תוך שהוא מאפשר לסטודנטים לבחור את הזמן, המקום והאופן שבו ירכשו את השכלתם. בכך הוא מחזיר את האקדמיה למרכז השיח החברתי-טכנולוגי, לא כגוף סגור אלא כמרחב פתוח, משתף, ומותאם לדור החדש של הלומדים והיוצרים.

תנובת ג'וניורים: חקר מקרה על קיצור זמן ההבשלה של מהנדסים צעירים באמצעות חינוך מעשי-הנדסי

גבריאל דוד פינטו ושושי רייטר

ד"ר גבריאל דוד פינטו הוא ראש המחלקה להנדסת תעשייה וניהול במכללה האקדמית עזריאל להנדסה בירושלים (2019-2024). מומחה להנדסת תהליכים עסקיים, חוקר בתחומי חקר ביצועים, פתרון בעיות ומדע הנתונים. עוסק בפיתוח מודלים לצמצום הפער בין האקדמיה לתעשייה, ומשמש יועץ בכיר לחברות מובילות במשק.

ד"ר שושי רייטר היא מומחית בין-לאומית בתורת האילוצים (TOC). בעלת דוקטורט בלמידה תוך ויסות עצמי. עוסקת בחדשנות יזמית, ניהול הצדדים הרכים בארגונים והטמעת AI. בעלת ניסיון עשיר בהובלת תהליכי שינוי והעצמה ארגונית. מרצה ומנחת סדנאות בארץ ובעולם בתחומי המנהיגות, החינוך, התקשורת ופיתוח ההון האנושי.

בכל שנה משתלבים בשוק העבודה כ-8,000 מהנדסים ג'וניורים בישראל, אך רבים מהם מגיעים לארגונים כשהם אינם בשלים מקצועית, מה שגורם לכזבזב זמן חניכה יקר והפסד כלכלי המוערך ב-6.4 מיליארד שקל בשנה. מאמר זה בוחן כיצד ניתן לקצר את תקופת ההבשלה של מהנדסים צעירים, באמצעות מודל חינוכי אינטגרטיבי המיושם כבר בלימודים האקדמיים. באמצעות חקר מקרה של המחלקה להנדסת תעשייה וניהול במכללה האקדמית עזריאל להנדסה בירושלים, מתואר מודל שתרם לשיעורי השמה גבוהים ולצמצום הפער בין לימודים לעבודה. הסטודנטים השתלבו בעשרות פרויקטים מעשיים, בליווי סגל אקדמי בעל ניסיון בתעשייה. תוכנית הלימודים עודכנה תדיר בהתאם לצורכי השוק; לאורך הלימודים הושם דגש על פיתוח מיומנויות כמו יכולת הצגה, פתרון בעיות, תקשורת אפקטיבית וניהול זמן. התוצאות במדדי המפתח הקשורים להוראה היו עלייה בהשמה בתעשייה של ג'וניורים והשתלבות מוקדמת של סטודנטים בשוק העבודה, ירידה באחוזי הנשירה מהלימודים ועלייה של יותר מ-80% במספר הסטודנטים במחלקה. מעסיקים ציינו לחיוב את היכולות של הבוגרים להשתלב בזמן קצר במקום העבודה. המתווה היישומי שמוצע במאמר זה ניתן להרחבה לכמות גדולה של סטודנטים (Scalable).

מבוא

אחת הסוגיות המרכזיות במעבר מהכשרה אקדמית להשתלבות תעסוקתית בהנדסה היא "תקופת ההבשלה" הארוכה שנדרשת למהנדסים צעירים (ג'וניורים) כדי להיהפך לבעלי ערך משמעותי בארגון. כמו כן, בשנים האחרונות חברות רבות כבר אינן מוכנות עוד להשקיע בהכשרת עובדים חדשים, ומעדיפות לגייס רק בעלי ניסיון קודם.

בישראל יש כ-350 אלף סטודנטים פעילים, ששליש מהם במקצועות STEM (מדע, טכנולוגיה, הנדסה ומתמטיקה) וכ-35 אלף מהם בלימודי הנדסה (הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 2023/4). אף שבישראל מסיימים מדי שנה כ-8,000 מהנדסים את לימודיהם, בפועל, רבים מהם נזקקים לחודשים ואף שנים של חניכה מקצועית בטרם יוכלו לפעול באופן עצמאי. אם נניח שמהנדס עובד כ-2,000 שעות בשנה, שמחציתן מוקדשות ללמידה וחניכה בשתי שנותיו הראשונות (בכל שנה ישנם שני מחזורי ג'וניורים, קרי 16 אלף מהנדסים), הרי שמדובר ב-16 מיליון שעות למידה וחניכה בשנה. בהנחה שמרגנית של פריזון למשק של 400 שקל לשעת מהנדס בישראל, מדובר בפוטנציאל תוצר אבוד של כ-6.4 מיליארד שקל בשנה, כלומר יותר מ-60 מיליארד שקל בתוך עשור. תופעה זו אינה משקפת רק את הפער בין התאוריה לפרקטיקה, אלא גם את הכשל המבני המתמשך בשוק העבודה ובמערכת ההשכלה הגבוהה באשר להכשרת מהנדסים לתפקוד מיידי בעולם התעסוקה. הפוטנציאל הטמון בקיצור תקופת ההבשלה המקצועית הוא אדיר. השאלה המרכזית היא: האם המוסדות האקדמיים ישכילו לבצע את ההתאמות הנדרשות, "להמציא את עצמם מחדש" (שלגי, 2018), וליטול חלק פעיל במענה לאתגר זה?

מגמה דומה ניכרת גם בזירה הבין-לאומית. לפי הדוח "State of Tech Talent: 2025" של חברת SignalFire, חלה ירידה של יותר מ-50% במספר המשרות למהנדסים בתחילת דרכם בשוק העבודה האמריקאי מאז 2019 (SignalFire, 2025). הירידה בולטת במיוחד בקרב חברות הטכנולוגיה הגדולות בעמק הסיליקון, כגון Meta, Amazon ו-Google, שפעם התאפיינו בגיוסים נרחבים של בוגרי אוניברסיטאות לתפקידי כניסה. הדוח מבוסס על ניתוח רחב היקף של נתוני LinkedIn ממיליוני אנשי מקצוע וחברות בארצות הברית, והוא מהווה אינדיקציה מהימנה למגמות הגיוס בתעשיית ההייטק האמריקאית. החברות הגדולות נאלצות להסתגל לעולם עבודה חדש, שבו עובדים נשארים באותו מקום עבודה למשך פחות שנים מאשר בדורות קודמים. נוסף על כך, החברות נאלצות להצמצם בעקבות מגמות מקרו-כלכליות כמו האטה בהשקעות, עליית ריביות והתייעלות תקציבית, ומסיבה זו מעדיפות לא להעסיק עובדים חסרי ניסיון ולכן גם לא ג'וניורים. אולם לא מדובר רק בירידה זמנית, אלא בשינוי מבני עמוק. ככל שהשימוש בבינה מלאכותית מתרחב, משימות שבעבר שימשו כבסיס להכשרת עובדים חדשים מבוצעות כיום על ידי מערכות אוטומטיות (Tschang & Almirall, 2021). כך מצטמצמות משימות ההזדמנויות לתפקידי כניסה. תהליך זה מעצים את מה שמכונה "פרדוקס הניסיון": שוק שמחפש מועמדים בעלי ניסיון, אך אינו מספק להם את ההזדמנות לרכוש אותו (Perrone & Vickers, 2003). במצב זה, האחריות להעניק לבוגרים וספציפית למהנדסים ג'וניורים ניסיון משמעותי עוברת בהדרגה מהתעשייה אל מוסדות ההשכלה הגבוהה, שנדרשים לגבש מסלולים מעשיים יותר שיגשרו על הפער שבין האקדמיה לשוק העבודה.

מצב זה מצריך חשיבה מחודשת על תהליך ההבשלה המקצועית, לא כשלב שמתחיל רק לאחר סיום הלימודים, אלא כתהליך שיש לעצב אותו כבר באקדמיה. לא עוד הכשרה תיאורטית מנותקת מהשטח, אלא שילוב אינטגרטיבי, מתמשך ומכוון של רכיבים מעשיים בתוך תוכנית הלימודים. Partt ו-Sun (2024) מדגישים כי לנוכח השפעת הבינה המלאכותית על עולם העבודה, יש חשיבות גוברת להטמעת למידה משולבת עבודה כבר בשלבי ההכשרה הראשוניים. שילוב כזה מאפשר לסטודנטים לרכוש כלים רלוונטיים לתפקידי התחלה, שמוחלפים במהירות על ידי אוטומציה. באופן דומה, Boun ואחרים (2021) מצביעים על הצורך לשלב את אתגרי העולם המקצועי באופן ישיר ופעיל בתוך תהליך ההוראה האקדמית ולא לדחות את ההתמודדות עימם לשלב שלאחר סיום הלימודים.

הדוח "הפורום לחינוך מהנדסים במאה ה-21: תובנות, דרכי פעולה ושינויי פרדיגמות" (Bentur & Zonnenshain,

2019) מחזק תפיסה שממליצה על מעבר כולל לגישה הרואה בלמידה תהליך אינטגרטיבי, מערכתי ומבוסס-עשייה, המשלב בין ידע תיאורטי, פתרון בעיות, כישורי חיים, ושיתוף פעולה עם התעשייה לאורך כל תקופת הלימודים. הדוח מציג ארבע קבוצות של נושאים שבכל אחת שלוש פרדיגמות שיש לעצב מחדש באקדמיה.

הפרדיגמות בקבוצת הידע והכישורים, מדגישות את הצורך ל: (1) הרחבת מוקד ההכשרה גם לכישורים יישומיים, מערכתיים ועדכניים; (2) עידוד חשיבה ביקורתית, רב-תחומית ופתרון בעיות; (3) הוספת רכיבים של כישורי הובלה ותקשורת בין-אישית (כישורים חיוניים/רכים) לצד ליבת המדע וההנדסה, וכחלק בלתי נפרד מהכשרת המהנדס.

בקבוצת העולם האמיתי והתעשייה, הדוח מדגיש את הצורך לחזק את הקשר בין האקדמיה לשטח על ידי: (4) הקניית ארגון כלים שיאפשר לסטודנטים לפעול בסביבות מורכבות שבהן אין בהכרח פתרון יחיד ונכון; (5) ההכרה בכך שחינוך מהנדסים אינו מתרחש רק בין כותלי האקדמיה, ולכן יש לשלב את התעשייה בתהליכי הלמידה, דרך פרויקטים, חונכות והתנסות מעשית; (6) פיתוח כישורים ללמידה עצמית כבר בתקופת הלימודים, כבסיס ליכולת להשתלב ולהתפתח לאורך הקריירה.

בקבוצת הסטודנטים, מציע הדוח: (7) לעצב חוויית לימודים שמעוררת התלהבות והזדהות עם תחום ההנדסה כמקצוע מוביל ומשמעותי; (8) מעבר מהערכה המבוססת על מבחנים בלבד להערכה הנשענת על איכות התוצרים; (9) שינוי אופן הקבלה לתארים, כך שיתבסס גם על אפיון של פוטנציאל וכישורים, ולא רק על ציונים ומבחנים סטנדרטיים כגון הפסיכומטרי.

לבסוף, בקבוצת הסגל האקדמי הוצע לבצע: (10) שינוי תודעתי בתפקיד המרצה ממעביר ידע למנטור המנחה בתהליך למידה פעיל; (11) השקעה בפיתוח והכשרה מתמשכת של אנשי הסגל, כולל הערכה של תרומתם לחינוך ולא רק למחקר; (12) שילוב אנשי מקצוע מהתעשייה במערכת האקדמית.

באופן מצטבר, הדוח מציג קריאה ברורה לשינוי פרדיגמטי כולל בהשכלה להנדסה, שינוי שנדרש לא רק כדי להתמודד עם פערי ההכשרה הקיימים, אלא גם כדי להבטיח את הרלוונטיות של בוגרי המערכת לעולם העבודה המשתנה, ואת מוכנותם המעשית והערכית להתמודד עם האתגרים ההנדסיים של המאה ה-21.

בשנים האחרונות גוברת ההכרה בצורך ברפורמה מהותית בלימודי STEM, אשר תשלב את עולם העבודה בתהליך ההכשרה כבר מהשנים הראשונות. מחקר של d'Escoffier ואחרים (2024) מדגיש כי שילוב למידה מבוססת-בעיות, PBL (Problem and Project-Based Learning) ויצירת קהילות תרגול מצמצמים את הפער בין תיאוריה לפרקטיקה ומקדמים פיתוח של למידה עצמאית. דוגמאות למוסדות אקדמיים שיישמו את השינוי הנדרש הן Olin College of Engineering בארה"ב (Guizzo, 2006). Olin היא מכללה קטנה של כ-400 סטודנטים המציגה גישה חדשנית ורדיקלית לחינוך מהנדסים, השונה מהגישה המסורתית. במרכז הגישה עומדת למידה מבוססת-פרויקטים המשלבת מהיום הראשון ידע הנדסי עם כישורי עיצוב, יזמות וחשיבה מערכתית. הסטודנטים אינם לומדים תיאוריה כשלב מקדים לעשייה, אלא רוכשים את הידע מתוך התנסות במצבים מציאותיים, בשיתוף פעולה הדוק עם צוותים רב-תחומיים ועם גופים חיצוניים. התרבות הארגונית ב-Olin שטוחה ופתוחה, ובה המרצים משמשים כמנטורים והסטודנטים מעורבים ושותפים פעילים לעיצוב הלמידה (Engagement). כך נבנית מערכת חינוכית המקדמת עצמאות, חדשנות וחיבור עמוק לעולם האמיתי. הגישה של Olin מתאימה לסטודנטים מעטים ואינה ניתנת להרחבה (אינה Scalable).

דוגמה נוספת היא Aalborg University בדנמרק. שיטת Aalborg בחינוך מהנדסים מבוססת על PBL ומשלבת תיאוריה עם פרקטיקה באופן הדוק. בכל סמסטר, הסטודנטים עובדים בקבוצות על פרויקט הנדסי ממשי, שבו הם מגדירים בעיה, חוקרים אותה לעומק, ומפתחים פתרון תוך כדי הפעלת מתודולוגיות מחקר וחשיבה מערכתית. הדגש אינו רק על רכישת ידע, אלא על פיתוח יכולות של למידה עצמאית, עבודת צוות, תקשורת בין-אישית,

וניהול זמן. המרצים ב-Aalborg פועלים כמנחים ולא כמרצים מסורתיים, והתהליך כולו מכוון לשיפור ההכשרה המעשית וההתמודדות עם אתגרים מהעולם האמיתי. גישה זו נחשבת למובילה עולמית ומיושמת באוניברסיטה מאז שנות ה-70, והיא משמשת כיום כמודל השראה גם באקדמיות אחרות, במיוחד בשל התאמתה לדרישות המאה ה-21 (Habbal, 2023). כאשר חינוך המהנדסים ממוקד ברכישת מיומנויות בעבודה על פרויקטים, זה יכול להגיע על חשבון רמת הידע. הבוגרים אומנם יוכלו לנהל פרויקטים הנדסיים, אך הדבר עלול למנוע מהם להיות מהנדסי פיתוח מעולים.

גם בישראל נעשה ניסיון לקדם תפיסה זו. מתווה "דמות הבוגר" של אפקה (2024) מגדיר עשר מיומנויות-על שנדרשות למהנדס העתידי, ובהן אחריות, שיתוף פעולה, יצירתיות, תקשורת, יכולת פתרון בעיות וניהול עצמי. אולם, בפועל, מרבית מוסדות ההשכלה הגבוהה בעולם ובישראל לא שינו מהותית את הלמידה בפועל, ונדרשת הובלה מוסדית עמוקה כדי ליישם את העקרונות בשטח.

חקר מקרה של המחלקה להנדסת תעשייה וניהול במכללה האקדמית עזריאלי

מאמר זה מציג את פעילות המחלקה להנדסת תעשייה וניהול (תעו"נ) במכללה האקדמית עזריאלי להנדסה בירושלים בין השנים 2019 ו-2024. המודל שהותנע על ידי חברי הסגל של המחלקה¹ הוא ניסוי טבעי וזכה לגיבוי הנהלת המכללה: הנשיאה דאז פרופ' רוזה אזהרי, הרקטורית דאז והנשיאה כיום פרופ' תמר רז-נחום והמנכ"ל דאז ד"ר רפי אבירם. חברי הסגל של המחלקה התגייסו למשימה ברוח של שותפות ומחויבות, ופעלו כמובילי שינוי אקדמי ומקצועי. המודל מייצג שינוי עומק בהכשרה אקדמית מכוונת פרופסיה. המחלקה פעלה מתוך הבנה אסטרטגית כי כדי להכשיר מהנדסים רלוונטיים לשוק העבודה, יש לפתח גישה מערכתית וניתנת להרחבה, להוראה הכוללת שילוב בין אקדמיה, תעשייה וסטודנטים. לצורך הטיפול ב-12 הפרדיגמות (Bentur & Zonnenshain, 2019), המחלקה גיבשה עשרה עקרונות פעולה (טבלה 1), שהוגדרו כ"עשרת עקרונות המנהיגות ההנדסית":

- 1. גמישות מבנית:** הושקו מסלולים מיוחדים הכוללים את החוג לאחר תואר במדעי המחשב והאפשרות לסיים תואר ראשון בהנדסה ותואר שני בחמש שנים. נוסף על כך הוחלפה ההתמחות בתפעול להתמחות עדכנית במדע-נתונים.
- 2. תוכנית לימודים מעודכנת בהתאם לנדרש בתעשייה:** המחלקה קיימה שולחנות עגולים עם מהנדסים בתעשייה באופן שוטף והטמיעה תכנים רלוונטיים לנדרש בשוק העבודה: 34% קורסים חדשים בהתמחות מדע-נתונים, 18% קורסים חדשים בהתמחות מערכות-מידע; ב-24% קורסים נוספים התכנים עודכנו.
- 3. סגל אקדמי בעל ניסיון אקדמי ועסקי עשיר:** יותר מ-70% מחברי הסגל היו בעלי תואר דוקטור ויותר מ-60% מחברי הסגל בעלי ניסיון עסקי עשיר. המכללה בנתה מנגנון תגמול שמתמקד לא רק במחקר אלא גם בהוראה.
- 4. קשרי תעשייה:** חיזוק הקשר עם התעשייה שכלל קורסים משותפים, סיורים וסמינרים של אנשי תעשייה בכל סמסטר והרצאות אורח רבות של אנשי תעשייה בקורסים.
- 5. התנסות מעשית במהלך הלימודים:** שילוב למידה מבוססת בעיות ופרויקטים לאורך התואר (PBL). ביצוע יותר מ-30 פרויקטים מעשיים לאורך התואר (בכ-60% מהקורסים). כמה מהפרויקטים היו חוצי קורסים ובוצעו במהלך כמה סמסטרים. שולבו קורסי PBL, כאשר המרכזי שבהם הוא "התנסות בתעשייה", ובו הסטודנטים עובדים בחברה בתעשייה במשך שלושה ימים בשבוע במהלך סמסטר קיץ תחת הנחיה של

1 גב' רחל אסולין, גב' לואיז טוויטו, מר הילל סטולר, מר גארו קבושיין, ד"ר קובי ענבר, ד"ר רוני וויצמן, ד"ר פני דוידוב, פרופ' אלון דומניס, ד"ר אינסה איינבינדר, ד"ר דוד אבישי, ד"ר רוני הורביץ, ד"ר בנימין ברסקי, ד"ר גיא קשי, ד"ר גבריאל דוד פינטו.

מנטור תעשייתי-אקדמי, ומקבלים נקודות זכות. קורס נוסף הוא PBL-מחקרי, ובו סטודנטים מתנסים במחקר במהלך שנה אקדמית עם חבר סגל ומקבלים את האפשרות להציג בכנסים מדעיים ולפרסם מאמרים בירחונים מובילים. נוסף על כך, בפרויקט הגמר של שנה ד' נדרש מהסטודנטים להוכיח שהפריקט שביצעו הוטמע בארגון.

6. **גמישות לוגיסטית:** הלימודים בשנת הלימודים האחרונה במסלול הרגיל צומצמו ליום אחד בשבוע בלבד, כך שסטודנטים יוכלו לעבוד במשרות סטודנט בתעשייה.

7. **חשיבה מערכתית והתנסות בטכנולוגיות מתקדמות:** פותחו קורסים בהנדסת-מערכת, הנדסת תהליכים, תעשייה 4.0. קורסים אלו שולבו בשתי התמחויות: מדע-נתונים ומערכות-מידע. בנוסף, פותחה מעבדה חדשנית שכללה את תשעת עמודי התווך של תעשייה 4.0, ובהם האינטרנט של הדברים (IoT), רובוטקה מתקדמת, מציאות רבודה (AR), הדפסה תלת ממדית, מחשוב ענן ואינטגרציה אופקית.

8. **יכולות חינויות/רכות:** הקשר האישי עם המרצים (סטודנט לומד כ-3-5 קורסים אצל אותו חבר סגל בכיר) ולמידה מבוססת פרויקטים אפשרה דה-פאקטו לחברי הסגל האקדמי והמנהלי של המחלקה לשמש כמנטורים ולהקנות לסטודנטים מיומנויות חינויות/רכות.

9. **הנגשת הלימודים לאוכלוסיות שונות:** מסלול בוקר (רגיל); מסלול ערב לאנשים עובדים; מסלול לאוכלוסיה החרדית.

10. **שילוב לימודים מקוונים:** לימודים מרחוק שולבו בתוכנית הלימודים בהתאם להנחיות המועצה להשכלה גבוהה (עד 30% מהשיעורים). לימודים מקוונים שולבו בעיקר בשנים המתקדמות כדי לאפשר לסטודנטים לעבוד בתחום.

טבלה 1: יישום הפרדיגמות על ידי עקרונות המנהיגות ההנדסית

פרדיגמה												עיקרון המנהיגות ההנדסית
ד. סגל			ג. סטודנטים			ב. העולם האמיתי			א. ידע וכישורים			
12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
				✓	✓	✓					✓	1. גמישות מבנית
✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	2. תוכנית הלימודים
✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	3. סגל אקדמי
				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	4. קשרי תעשייה
✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	5. התנסות מעשית
					✓		✓					6. גמישות לוגיסטית
				✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	7. חשיבה מערכתית
			✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	8. יכולות חינויות
		✓	✓									9. הנגשה לאוכלוסיות
							✓					10. לימודים מקוונים

נוסף על תרומת המודל לשיפור מוכנות הבוגרים, ראוי לציין כי תפוקות המחקר של חברי הסגל של המחלקה לא רק שלא נפגעו אלא אף עלו בתקופה זו (כמו גם בכל מחלקות המכללה), בין השאר בזכות מדיניות של המכללה, שעודדה את חברי הסגל להישאר פעילים מחקרית ולשלב את עולמות המחקר והיישום באופן סינרגי (טבלה 2).

טבלה 2: סך תפוקות המחקר של חברי הסגל במחלקה להנדסת תעו"נ

שנה	מס' מאמרים לכל חבר סגל	מס' כנסים לחבר סגל	מס' סטודנטים לתואר ראשון שנמנים כמחברים של מאמר
2018	1	4	0
2019	3	4	0
2020	2	8	0
2021	4	15	0
2022	6	28	1
2023	6	38	6

תוצאות: השפעה על הבוגרים, על סטודנטים ועל מועמדים ללימודים במחלקה

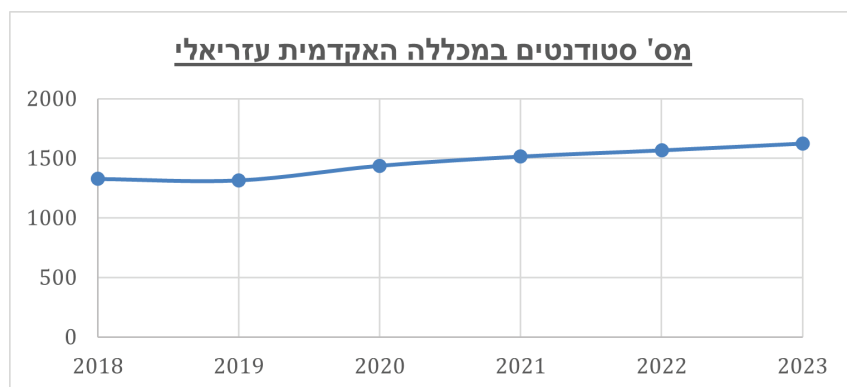
מחלקות אקדמיות בוחנות את איכות ההוראה שלהן במגוון רבדים, ששלושה מהם קריטיים: (1) השתלבות מוצלחת של הבוגרים בתעשייה; (2) מירב הסטודנטים מסיימים את הלימודים בהצלחה; (3) הביקוש מצד מועמדים ללימודים אקדמיים ללמוד במחלקה עולה. התוצאות של יישום עשרת עקרונות המנהיגות ההנדסית היו מרשימות בשלושת מדדי המפתח (KPIs) הקשורים להוראה אקדמית:

השתלבות מוקדמת, איכותית ומתמשכת של בוגרים וסטודנטים בשוק העבודה. השתלבות זו באה לידי ביטוי בהשמה של יותר מ-90% של ג'וניורים ושל סטודנטים בשנתם האחרונה ללימודים.

קיטון באחוזי הנשירה מהלימודים האקדמיים.

עלייה של כ-80% במספר הסטודנטים במחלקה. אחוז הסטודנטים במחלקה לתעו"נ מסך הסטודנטים במכללה עלה מ-19% ב-2018 ל-28% ב-2023 (גרף 1).

גרף 1: מספר הסטודנטים לתואר ראשון ושני במכללה האקדמית עזריאלי (לפי נתוני המל"ג)



מעסיקים זיהו במחלקה מקור איכותי למהנדסים מוכנים ופרודוקטיביים ונוצרו שותפויות ארוכות טווח עם

תעשיות מובילות. מעסיקים ציינו שוב ושוב שהבוגרים שהועסקו אצלם מהמחלקה גילו השתלבות מהירה והחלו להביא לתפוקות תוך תקופה קצרה מאוד ביחס לבוגרים ממוסדות אחרים. הבוגרים גילו יכולות טובות במיומנויות הצגה ותקשורת, פתרון בעיות, עבודת צוות, גמישות מחשבתית ויכולת הסתגלות. מעסיקים פנו מיוזמתם לקבלת בוגרים נוספים. חיזוק המותג המחלקתי: המחלקה מיתגה עצמה כגוף מוביל בהכשרה מעשית וחדשנית – דבר שהביא לשיתופי פעולה חדשים עם התעשייה.

דיון: הרחבת המודל והשלכות מערכתיות

המודל שמוצג במאמר מדגים אפשרות מעשית וישימה לקיצור משמעותי של זמן ההבשלה המקצועית של מהנדסים צעירים. עם זאת, הרחבתו למוסדות נוספים תלויה בשורת תנאים מוקדמים:

1. מעורבות הנהלת המוסד ומשרדי הממשלה הרלוונטיים – קיומו של גיבוי מוסדי, תקציבי וארגוני הכרחי להטמעה מוצלחת.

2. תוכנית לימודים דינמית – התאמה מתמדת של הקורסים להתפתחויות טכנולוגיות וצורכי המשק.

3. סגל הוראה משולב אקדמיה-תעשייה – בעלי תארים אקדמיים מתקדמים וניסיון תעשייתי-עסקי.

4. שיתוף פעולה הדוק עם התעשייה – לא רק בליווי פרויקטים, אלא גם בעדכון תכני הלימוד.

5. למידה מבוססת פרויקטים (PBL) – שילוב עשרות פרויקטים במהלך התואר, כחלק אינטגרלי מההכשרה.

6. גמישות לוגיסטית ותעסוקתית – מבנה לימודים המאפשר לסטודנטים להשתלב בעבודה עוד במהלך התואר.

מעבר ליישום הטכני, יש להתמודד עם מתח מהותי בין הקניית ידע תאורטי מעמיק לבין פיתוח מיומנויות מעשיות. "מוסדות אקדמיים שואפים להכשיר בוגרים ברמה מדעית גבוהה, המתאימים למחקר מתקדם ולתפקידי פיתוח, אך במקביל נדרש לצייד את הסטודנטים במיומנויות שיאפשרו להם להשתלב במהירות וביעילות בשוק העבודה. במובן זה, אין מדובר בדיכוטומיה – מיומנויות כמו פתרון בעיות, חשיבה מערכתית ויכולת עבודה בצוות הן חיוניות הן לתעשייה והן למחקר" (פרופ' עמי מויאל, נשיא המכללה האקדמית אפקה).

"עשרת עקרונות המנהיגות ההנדסית" שהוצגו במאמר זה מהווים גישה מערכתית שמסוגלת לשלב בין שני העולמות – להקנות לבוגרים תשתית מדעית איתנה, לצד כלים פרקטיים להצלחה מקצועית. יתרונו של המודל הוא בהיותו ניתן להרחבה (Scalable) ולהתאמה עבור אלפי סטודנטים ומוסדות שונים, ללא צורך בשינויים רדיקליים במבנה האקדמיה.

ראוי להדגיש כי המודל שהוצג אינו הדרך היחידה לשיפור מוכנות הבוגרים. מוסדות שיאמצו עקרונות פעולה דומים יכולים לפתח מודלים חלופיים מותאמים לצרכים הייחודיים שלהם. מה שדרוש הוא נכונות מוסדית לחשיבה מחודשת, וגיבוש מחודש של מדיניות חינוך אפקטיבית למקצועות ה-STEM, הממקדת את הלמידה סביב מוכנות לתפקוד מקצועי – לא רק סביב הצטיינות אקדמית מסורתית.

מאמר זה מציע מענה מעשי לבעיה מוחשית: תקופת הבשלה ארוכה מדי של מהנדסים צעירים. באמצעות חקר מקרה והצגת מודל יישומי, מודגם נתיב אפקטיבי לקיצור זמן ההבשלה המקצועית ולהגברת מוכנותם של בוגרי תוכניות ההנדסה להשתלבות מהירה ויעילה בשוק העבודה. על בסיס הממצאים, אנו ממליצים על הצעדים הבאים:

א. לאמץ מודלים של למידה מבוססת בעיות ופרויקטים בליווי אישי של אנשי סגל ותעשייה.

ב. להפוך את ההתנסות המעשית לרכיב חובה בתוכניות ההכשרה ב-STEM.

ג. להגדיר מחדש את תפקידה של התעשייה כשותפה מהותית בהכשרה האקדמית, ולא רק כמסגרת להתנסות.

מקורות

- SignalFire. (2025). *State of Tech Talent: 2025*, <https://www.signalfire.com/blog/signalfire-state-of-talent-report-2025>, Accessed 24 June 2025.
- Perrone, L., & Vickers, M. H. (2003). "Life After Graduation as a 'Very Uncomfortable World': An Australian Case Study". *Education+ Training*, 45(2), 69-78.
- Tschang, F. T., & Almirall, E. (2021). "Artificial Intelligence as Augmenting Automation: Implications for Employment. *Academy of Management Perspectives*, 35(4), 642-659.
- Bentur, A., Zonnenshain, A., Nave, R., & Dayan, T. (2019, May). *21st Century Engineering Education Forum: Insights, Methods of Action and Paradigm Changes*. Neaman Institute, Technion — Israel Institute of Technology.
- d'Escoffier, L. N., Guerra, A., & Braga, M. (2024). "Problem-Based Learning and Engineering Education for Sustainability: Where We Are and Where Could We Go?". *Journal of Problem Based Learning in Higher Education*, 12(1), 18-45.
- Guizzo, E. (2006). "The Olin Experiment [Engineering Education Experiment]. *IEEE Spectrum*, 43(5), 30-36.
- Habbal, F., Kolmos, A., Hadgraft, R. G., Holgaard, J. E., & Reda, K. (2023). "Problem and Project-Based Learning at Aalborg". In *Reshaping Engineering Education: Addressing Complex Human Challenges*. Singapore: Springer Nature Singapore, (pp. 199-222).
- Afeka College of Engineering (2024). *The Graduate Profile Framework*. Afeka Internal Report.

"השכלה גבוהה בישראל - נתונים נבחרים לשנת הלימודים תשפ"ד 42/3202", הלמ"ס.

שלגי, ג'. (8102). המצפן הארגוני — סיפור על ארגון שהמציא את עצמו מחדש (מהדורה שנייה). הוצאת דאנאקוד.

לומדים לחשוב, להרגיש ולהסתגל: החינוך בכלל וההנדסי בפרט בעידן הבינה המלאכותית

דדי פרלמוטר

דדי פרלמוטר הוא ממנהיגי ההייטק הישראלי ומהנדס בכיר, בעל השפעה עולמית בתחום המחשוב. בשנותיו באינטל (1982-2014) שימש כסגן נשיא בכיר, הוביל את פיתוח מעבדי הפנטיום ומהפכת המחשוב הנייד והאינטרנט האלחוטי והיה הישראלי הבכיר ביותר בהנהלת החברה. פרלמוטר יזם קרן השקעות בהייטק, ייעץ והוביל עמותות חברתיות בליבת הטכנולוגיה-חברה, כיהן כחבר דירקטוריון בחברות טכנולוגיה ועמד בראש ועדות ממשלתיות לקידום ההון האנושי בהייטק. ב-2025 מונה ליו"ר הוועד המנהל של הטכניון והוא עומד במוקד פעילות לקידום השכלה, חדשנות ותעסוקה טכנולוגית, לצד פעילות ציבורית בנושאי הכשרה לבינה מלאכותית, חינוך והשפעה חברתית רחבה.

המאמר עוסק בהשפעת מהפכת הבינה המלאכותית הגנרטיבית על מערכות החינוך, ההנדסה והכשרה לכלכלה המשתנה. הוא מנתח מגמות גלובליות, דוגמת השינויים שנגרמים על ידי Generative AI והשלכותיהם על שוק העבודה, יכולות החשיבה והידע הטכנולוגי. הכותב מציג גישות דינמיות לחינוך והכשרת מהנדסים, הדגשת חשיבות הלמידה המתמדת, פיתוח כישורים עדכניים להתמודדות עם מציאות משתנה, ושילוב מחדש של תכנים וכלים דיגיטליים בתהליכי ההוראה, הניהול והעשייה הכלכלית.

משחר ילדותי אהבתי לקרוא על אנשי מדע ורוח ועל אופן המחשבה שלהם. האמירות הזכורות לי ביותר של איינשטיין הן שלמידה אינה רק רכישת ידע ועובדות, אלא בעיקר פיתוח היכולת, חשיבה, הבנה ושאלת שאלות. זו הייתה מהות החינוך בעיניו – לא למלא את הראש במידע, אלא לאמן את המחשבה על בסיס ידע עמוק.

אופן החשיבה הזה שימש גם אותי לאורך חיי, מנעורתי ולאורך הקריירה שלי. במיוחד ליוותה אותי המנטרה "השאלות חשובות מהתשובות", שהייתה עבורי כלי לפיתוח סקרנות וחיפוש אחרי בעיות חדשות ופתרונות יצירתיים, והייתה נר לרגלי לא רק במסלול המקצועי אלא גם בחינוך ילדי ועכשיו גם נכדי.

האקדמיה עומדת כיום בפני אתגר וסיכון עצומים מחד, והזדמנות חסרת תקדים מאידך – איך לצייד את הבוגרים לא רק בידע אלא גם ביכולות ובמיומנויות הדרושות להתמודדות עם העולם המורכב בימינו ועם אתגרי העתיד. האקדמיה הייתה מאז ומתמיד מרחב ייחודי שבו הידע האנושי מתפתח, והיא אמורה להיות המצפן שמכוון את החברה אל העתיד. עם זאת, היום נדמה לעיתים שהאקדמיה אינה מחוברת לקצב השינויים ומתקשה להגיב לצרכים המשתנים של שוק העבודה ושל החברה בכלל, וזה דורש חשיבה מחודשת.

הקונטקסט ההיסטורי: מהפכות שינו את העולם ואת החינוך

נוסף על התנודות הגיאופוליטיות שמשפיעות על הכלכלה ובצידן מלחמה ומשבר פוליטי, אנחנו עומדים כיום בפתחה של מהפכה חדשה – מהפכת הבינה המלאכותית. זוהי מהפכה שהיא בבסיסה טכנולוגית, אבל במהותה היא משנה סדרי עולם בכל תחומי החיים – זוהי בעצם "מהפכת חשיבה" שהעולם עובר. עד היום החשיבה הייתה אנושית לחלוטין; בעשורים האחרונים נעזרנו במדיות דיגיטליות שהאיצו תהליכים, אך בתקופה הזו מי שיסתפק בכלים אנושיים בלבד יישאר מאחור. החושב החדש הוא חושב המשלב את האנושי והדיגיטלי.

כמו המהפכות הקודמות לה – מהמהפכה החקלאית, דרך המהפכה התעשייתית ומהפכת החשמל ועד למהפכת המידע והמחשוב שהכניסה את הדיגיטציה לחיינו – כך גם מהפכה זו משנה לחלוטין את אורח החיים האנושי. אחד השינויים הדרמטיים הוא הדרך שבה האנושות חונכה, לימדה והכשירה את ילדיה וצעיריה. נוצרו מוסדות חינוך – בתי ספר ואוניברסיטאות, החלה דרישה לאוריינות ויכולת קריאה וכתובה לכולם, והשכלה אוניברסיטאית נהפכה לתנאי הכרחי לכניסה למקצועות רוויי ידע.

התפתחות האקדמיה לאורך ההיסטוריה

שורשי האקדמיה המודרנית נעוצים בימי הביניים, עם הקמת האוניברסיטאות הראשונות כמו אוניברסיטאות בולוניה, אוקספורד ופריז, אשר התמקדו בתחומים כמו תאולוגיה, פילוסופיה, משפטים ורפואה. בתקופה זו, עם המהפכה התעשייתית במאות ה-18 וה-19, האקדמיה עברה שינוי משמעותי, כאשר תחומי הידע המסורתיים, כגון הנדסה, כימיה ופיזיקה, עברו מהפכה שהתאימה אותם אל העולם המודרני והתעשייתי. אליהם הצטרפו במחצית השנייה של המאה ה-20 מקצועות חדשים כמו מדעי המחשב. בתקופה זו, האוניברסיטאות החלו להתמקד בהכשרת כוח אדם מיומן ובמחקר יישומי התומך בתעשייה.

הרחבת בסיס הידע ואפשרויות התקשורת אפשרו את השינוי מתקופה שבה הידע והשליטה היו בידי מעטים, בעיקר כוהני דת, להפצתו למספר הולך וגדל של אנשים. זו לא הייתה רק תנופה מדעית וכלכלית אלא מעבר לדמוקרטיה ויתר חופש לפרט. בסופו של התהליך, ההשכלה נהפכה למנוע כלכלי, חברתי ותעסוקתי משנה מציאות. האזרחים נהפכו מ"אזרח טיפש" שמילא הוראות ל"אזרח חכם" מעורה, מעורב ומשפיע.

בתקופה שבין שתי מלחמות העולם ואחריהן, האקדמיה נהפכה למרכז משמעותי של מחקר מדעי מתקדם, כאשר מדינות הגדילו את ההשקעות במחקר אקדמי ובפיתוח טכנולוגי. לדוגמה, בארצות הברית נוסדו ארגונים כמו

DARPA, NSF ו-NASA, שהביאו לפריצות דרך אדירות בתחומי המדע והטכנולוגיה. בעידן המהפכה הדיגיטלית בסוף המאה ה-20 ובתחילת המאה ה-21, האקדמיה שוב התפתחה באופן משמעותי ונהפכה למרכז של חדשנות, פיתוח טכנולוגיות מחשוב ותקשורת דיגיטלית.

לאורך ההיסטוריה ועד היום, האקדמיה הייתה המקור המרכזי לידע האנושי באמצעות מחקר בכל התחומים ובפרט בתחומי המדע, הטכנולוגיה וההנדסה. היא הייתה, באופן כמעט בלעדי, הגוף המכשיר הן את בעלי המקצוע לעולם התעסוקה והן את החוקרים העתידיים. פעילותה הובילה במהלך השנים לצמיחה כלכלית חסרת תקדים ופתחה הזדמנויות לרכישת השכלה בעבור אוכלוסיות רבות ברחבי העולם.

כיום, בעידן הבינה המלאכותית, עתידה של האקדמיה עומד בסימן שאלה גדול. כיצד תשפיע מהפכת החשיבה על האקדמיה וכיצד האקדמיה תייצר את עתידה כך שתשמור על ההשפעה החשובה כל כך שהיא מייצרת ומובילה זה מאות שנים. על האקדמיה שוב להתאים את עצמה לשינויים ולאמץ תפקיד חדש, שבו הדגש הוא על פיתוח מיומנויות יצירתיות, רב-תחומיות וחשיבה ביקורתית. זאת, תוך כדי מציאת דרכים חדשות לביצוע מחקרים פורצי דרך.

הסערה המושלמת: שוק העבודה ההנדסי בעידן הבינה המלאכותית

העולם – ובכלל זה ישראל – חווה "סערה מושלמת" של משברים חברתיים, פוליטיים, כלכליים וטכנולוגיים שמועצמים על ידי הכלים שצמחו בעידן המהפכה הדיגיטלית, כמו האינטרנט והרשתות החברתיות, לצד היכולת לייצר "פייק ניוז" על ידי כל אחד ולהפיצן בעולם תוך חלקיקי שנייה. יכולות טכנולוגיות שונות מאפשרות ייצור כלי נשק מתקדמים גם לגופים בעלי אמצעים מוגבלים. בעוד שמלחמות העבר היו על מים, טריטוריה, דת, נתיבי סחר ונפט, כיום למתחים העולמיים נוספו מאבקים סביב שליטה בטכנולוגיה מתקדמת. בתוך כל אלה אנחנו עומדים בפני שינוי חסר תקדים.

המהפכה החקלאית אפשרה שימוש בכוח בעלי החיים החזקים מהאדם, והמהפכה התעשייתית במכונות החזקות והמהירות מהאדם ומהחיה, ולאחרונה במכונות המחשבות חשובים ומוצאות נתונים מהר מהאדם – בכל אלה, המאפיין שעבר כחוט השני הוא שהאדם היה החושב והשולט בתהליך. ואילו כעת, לראשונה, מגיעה יכולת שפותחה על ידי האדם, אבל היא בעלת יכולת לימוד עצמאית מרשימה שעלולה לפתח אינטליגנציה שתהיה גבוהה מזו האנושית – כלומר מאיימת לחרוג מגבולות השליטה האנושית. בפרפראזה על אמירת קהלת, ניתן לשאול: "מותר האדם מן המכונה? אין".

מצד אחד, טכנולוגיות הבינה המלאכותית יוצרות הזדמנויות חדשות ופורצות דרך; מצד שני, הן מביאות לאי-ודאות עמוקה בשוק העבודה ולחשש מפני אובדן משרות מסיבי. בינה מלאכותית יוצרת (Generative AI), כמו GPT ו-GEMINI, כבר משפיעה על מקצועות הנדסיים רבים, מחליפה משימות שגרתיות ומדגישה את הצורך במיומנויות חדשות. לפיכך, תחומים כמו הנדסת תוכנה ומדעי המחשב, הנדסת מכונות, הנדסה אזרחית והנדסת חשמל ומחשבים כבר מתחילים להרגיש את ההשפעה הישירה של AI דרך אוטומציה מתקדמת, סימולציות חכמות, ואופטימיזציה של תהליכים שהיו עד לאחרונה תחת אחריות מהנדסים באופן בלעדי.

כאן נשאלת השאלה, ורבים הוויכוחים: האם רוב המשרות יתייתרו וכולנו נהיה מובטלים? או שמשרות אכן ייעלמו, אבל ייווצרו חדשות, וגם אלה שיישארו ישתנו מהותית? דוח הפורום הכלכלי העולמי צופה שמעט משרות ייעלמו, וייווצרו משרות חדשות – אבל הכי חשוב שחלק ניכר מהמשרות ישתנו, שיעור מסוים מהן באופן מהותי, בגלל הופעת הבינה המלאכותית (דוח הפורום הכלכלי העולמי על עתיד המשרות, 2025).

הסיכון והשינוי הגדול בטווח הקצר הוא דווקא במקצועות הצווארון הלבן, בעיקר בחלק של המשימות השגרתיות: תכנות ברמה הבסיסית, הנהלת חשבונות, כתיבת דוחות וכדומה.

מיומנויות וחשיבה נדרשות בעידן הבינה המלאכותית

בעולם הנוצר לנגד עינינו, שבו הבינה המלאכותית משנה את כללי המשחק, רכישת ידע טכני צר אינה מספיקה עוד. בעבר, רבים מהעובדים, גם בתחומי ההנדסה, עבדו בעיקר בתחום היישום. הם קיבלו בעיה, מוגדרת יותר או פחות, והתבקשו לתכנן באופן מדויק את הפתרון עבורה: בין אם זה באמצעות כתיבת תוכנה, תכנון גשר, פיתוח שבב מחשב ועוד.

בתפקידי הראשונים כמהנדס פיתוח שבבי מחשב, נתבקשתי לפתור משימות שניתנו לי על ידי מנהליי – הם שאלו ואני עניתי. עם הזמן, למדתי להצליח לענות על שאלות קשות ומורכבות יותר. אבל כשהפכתי למנהל וארכיטקט, האחריות שלי השתנתה: אז התבקשתי להגדיר מה הבעיה הבאה שצריך לפתור. גיליתי שלצורך זה אני צריך לשאול שאלות יותר מורכבות ולמצוא תשובות בעזרת אנשים נוספים שעובדים איתי. אז גיליתי שהאנשים איתם אני עובד טובים ממני במציאת תשובות, ואני נדרש להתמחות בשאלת השאלות הנכונות, מכיוון שזה דורש יותר מיומנות ויכולת יזמית, יצירתיות וחשיבה ביקורתית.

במהלך עבודתי, אבל גם כהורה לילדים, גיליתי תופעה מעניינת: במשימות בחוברות צביעה, יש אנשים שיודעים למלא בצבע הנכון ולא לחרוג מהקווים; אחרים, מעטים יותר, כלל אינם רוצים לצבוע אלא ליצור בעצמם את הצורות; מיעוט קטן עוד יותר יודע ואוהב לעשות את שני הדברים.

בעידן הבינה המלאכותית הצורך באלה שיודעים לצבוע הולך וקטן, ונותרים אלה שיודעים לשאול, לרכז את הנתונים הנכונים ולהתמקד בתיאור הבעיה, ונעזרים לא רק בקבלת התשובות אלא גם ובעיקר נעזרים בבינה המלאכותית לשאול את השאלות. כלומר יכולת החשיבה הרב-תחומית והרב-מערכתית על המערכת בכללותה גוברת על הידע העמוק והצר בתחומי יישום ספציפיים.

לצורך זה, המיומנויות והכישורים הבאים יהיו חשובים עשרות מונים מבעבר:

- **אוריינות** – היכולת לבטא בבהירות שאלות ורעיונות (בעברית ובעיקר באנגלית).
- **חשיבה ביקורתית, מדעית, חישובית, מתמטית ורב-תחומית** – שנרכשת דרך לימוד של מתמטיקה ומדעים (בעיקר פיזיקה) ומדגישה כי אין לקבל כל דבר כמובן מאליו, אפילו אם הוא מגיע מכלי חכם ורב ידע כמו הבינה המלאכותית.
- **יכולות ניתוח מעמיקות של תהליכים מורכבים** (הנדסיים, מדעיים, היסטוריים, כלכליים) ויכולת לחבר בין כמה תחומים – לדוגמה, בשיחותיי עם אנשים שעוסקים בפיתוח תרופות נאמר לי שבעולם של בינה מלאכותית הם מחפשים בוגרים עם הבנה מעמיקה של המערכות הביולוגיות עם חשיבה חישובית, מדעי נתונים ושימוש בבינה מלאכותית.
- **יצירתיות וחדשנות** – היכולת להגדיר בעיות חדשות ולפתח פתרונות מקוריים. סקרנות היא תכונה אנושית – רק צריך לעודד אותה וללמד כלים להשתמש בה, לשאול שאלות חדשות ולמצוא תשובות חדשות.
- **עבודה בצוות, יכולת למידה עצמית ולמידה מתוך כישלונות ופיתוח חוסן** – בעידן של שינויים עצומים בקצב גובר, לעולם לא נלמד כל מה שצריך ללמוד. הלימוד המתמשך יהיה חלק מחיי כולנו.
- **שימוש בבינה מלאכותית ככלי להעצמת הדמיון, היצירתיות ויכולת פתרון בעיות.**
- **פיתוח עמוד שדרה אתי** – מדובר במרכיב קריטי, במיוחד ככל שמתעצמים הכלים הטכנולוגיים והיכולות נראות אין-סופיות, ולכן חשוב להביא אותו בחשבון. למשל, בין השאר, נדרש פיתוח תודעה אתית ומוסרית עמוקה לשימוש אחראי בטכנולוגיה בכלל ובבינה מלאכותית בפרט. נוסף על כך, יש לשלב אתיקה כחלק בלתי נפרד מתוכנית הלימודים, כחלק מהדיון בחדשנות הטכנולוגית.

תפקיד האקדמיה בעידן החדש: סיכונים והזדמנויות

ב-80 השנים שחלפו מאז מלחמת העולם השנייה, לימודים אקדמיים, בין אם נועדו לקידום במסלול מחקרי ובין אם ליציאה לעולם התעסוקה עתיר הידע, ובמיוחד בעולם המדעי, ההנדסי והטכנולוגי, נהפכו לנחלת הכלל, והתקבעו במדינות המערב כשלב הכרחי בהתפתחות האישית של אזרחים ובהתפתחות הכלכלית של מדינות. אולם בשנים האחרונות תפיסה זו החלה להתערער, עוד לפני התפתחות הבינה המלאכותית. זה שנים, צעירים מדור ה-Z נוטים להיות חסרי סבלנות כלפי השקעה ארוכת טווח ומוותרים על לימודים אקדמיים של ארבע שנים ויותר. כבר תהליך זה מעלה את השאלה: האם הלימוד באקדמיה בכלל רלבנטי בתקופה זו, והאם חומר הלימוד לא יתיישן במהלך שנות הלימוד עוד לפני הכניסה לעבודה? הסטודנטים חשים שהם אינם מקבלים הכנה מתאימה ליישום בפועל של הידע במקצועות שלמדו עבור עולם העבודה, ובמיוחד שהם אינם מקבלים כלים לחשיבה ושימוש בכלי בינה מלאכותית – שגם משתנים מדי יום. אז מדוע ללמוד כל כך הרבה, אם בכל מקרה לא בטוח שאמצא עבודה?

יתרה מזו, בישראל קיים גם מסלול השירות ביחידות הטכנולוגיות, שנתפס פעמים רבות כמסלול עוקף לימודים אקדמיים שמעביר בוגרים מצטיינים היישר לעבודה בהייטק בשכר גבוה ללא תואר כלל. כך, האקדמיה מוצאת את עצמה משתרכת אחר התעשייה – שמקדימה אותה במחקר ובשיטות לימוד ועבודה וגם יודעת לפתח בעצמה תוכניות הכשרה, מה שמטיל עוד ספק על הרלבנטיות של האקדמיה.

דבר אחד ברור: התפיסה הליניארית של מסלול החינוך וההכשרה שמתחיל בגן ובבית הספר, ממשיך לצבא, ומסתיים בתואר באוניברסיטה או במכללה, מפסיקה להיות רלבנטית.

דרכים להנחלת מיומנויות חדשות באקדמיה

בראשית ימי המהפכה הדיגיטלית, כבר בשנות ה-70, היה ברור שיש "כלי" חדש: שימוש במחשב ותכנות. בהתחלה אלה נתפסו כעוד כלים טכנולוגיים – למדנו שפות תכנות וכלים ושיטות לפתח תוכנה. אבל כבר בשנות ה-80 המוקדמות, כשעבדתי כמהנדס בפיתוח שבבים, התחוללה מהפכה של ממש – לא רק מה מפתחים, אלא איך מפתחים: עברנו משרטוט על נייר, פתרון משוואות ושימוש בשיטות שלמדנו לביצוע פיתוח ואופטימיזציה, לביצוע עבודה בעזרת מחשב, ולימים הגדרנו למחשב מה נדרש כדי שהוא יעשה חלק מהעבודה עבורנו.

זה היה שינוי מהותי של כל אופן העבודה של מהנדס: מי שלא הצליחו להתאים את עצמם נשארו מאחור, ואלה שהתקדמו היו אלה שיכלו לחשוב על הבעיה באופן יותר מערכתי ומופשט. ללא השינוי הזה, כל ההתקדמות במזעור המעגלים ("חוק מור" המפורסם), שאפשרה דחיסת מאות מיליארדי התקנים לתוך שבב אחד, לא הייתה מתאפשרת. בהרצאה שנתתי לסטודנטים להנדסה, שאלתי: האם אתם לומדים להיות מסוגלים לתכנן ולבנות גשר מעל תהום – שיהיה ארוך פי 10 ויותר מהגשר הארוך ביותר בעולם כיום? כדי לענות על שאלה זו, הסטודנטים נדרשים למשימת חשיבה אחרת, לחומרי בנייה אחרים ולשיטות פיתוח ובנייה שאינן ידועות היום.

באקדמיה לומדים הרבה ולעומק, אבל קיים כשל ביכולת האינטגרציה של הידע והחשיבה המערכתית. הסטודנט בשנותיו הראשונות אינו מבין במה ישמשו אותו המקצועות השונים ולמה הוא לומד אותם בכלל. באופן יוצא דופן, בתי שלמדה ארכיטקטורה התבקשה לבצע פרויקט בנייה של מרכז קהילתי ביום הראשון ללימודיה, עוד לפני שלמדה מתמטיקה, פיזיקה וסטטיסטיקה. כשלמדה אותם היא כבר הבינה מדוע מקצועות אלה חשובים.

בתעשיית ההייטק טוענים שנדרשים כ-18 חודשים להכשיר בוגרי אקדמיה מצטיינים, וזה עוד לפני ימי הבינה המלאכותית. כיום הם כבר תוהים אם כדאי להעסיק בוגר אוניברסיטה ללא ניסיון, או לתת לבינה המלאכותית את המשימות שנתנו בעבר לעובדים זוטרים, מכיוון שהמהנדסים הבכירים כבר רכשו את המיומנויות הנדרשות.

הנה דוגמה נוספת מביקור שערכתי בבית ספר, שבו נחשפתי לדרכי לימוד והכשרה שונות בתכלית ומתאימות יותר לעולם החדש. כשהמנהלת שאלה תלמיד בן 17 שמשותף בחוג רובוטיקה מדוע היה לו חשוב ללמוד דווקא את התחום הזה, הוא סיפר שהוא אינו לומד רובוטיקה אלא אנגלית, מתמטיקה ופיזיקה לצד למידה כיצד להציג בעיה ופתרון בבירור וכיצד לחשוב לבד ובצוות. הפרויקט שלהם הוא בניית רובוט – כלי דידקטי נהדר שמייצג את המהות של אינטגרציית הידע. זוהי גישת לימוד שאני ממליץ גם לאקדמיה לאמץ, בשיתוף פעולה עם התעשייה.

אם כן, המשימה שלפנינו אינה ללמוד להשתמש בבינה מלאכותית ככלי, אלא כמיומנות מתפתחת שתאפשר לנו לבצע משימות הנדסיות יותר מורכבות ובשיטות שונות לחלוטין.

משמעות הדבר ברורה: צריך להפוך את תוכנית הלימודים על פיה, ולא להתייחס לשינוי כ"עוד שפת תכנות". יש להעניק לסטודנטים את כל הכלים שלהם הם זקוקים – מהבסיס המתמטי, מדעי נתונים, למידת מכונה ועוד, כחלק מהתפתחות יכולות החשיבה שלהם.

האקדמיה נדרשת לאמץ מודלים חדשים של הוראה ולמידה ולפתח "ארגז כלים" חדש להנחלת הידע והמיומנויות הללו. תוכניות לימודים צריכות לשלב באופן אינטגרטיבי כלים מתקדמים של AI, חינוך מבוסס פרויקטים והתנסות מעשית דרך שיתופי פעולה עם התעשייה. בהתאם לכך, הכשרת סגל ההוראה גם היא חייבת להשתנות מהותית: במקום "מעבירי ידע", המורים והמרצים צריכים להיהפך למנטורים ומנחי תהליכי למידה – כלומר להוביל את הסטודנטים לרכוש לעצמם חשיבה ביקורתית, עצמאית ויצירתית.

השפעת האקדמיה על מערכות החינוך שמזינות אותה ועל לימוד לאורך החיים

האקדמיה אינה יכולה להסתפק רק בתפקידיה כגוף מחקרי וגוף להכשרת חוקרים ומהנדסים. ארגז הכלים החדש בשיתוף עם התעשייה צריך להכיל שילוב של מיומנויות בינה מלאכותית, אתיקה, רב-תחומיות, אוריינות מתקדמת ולמידה עצמאית כחלק מכל תוכנית לימוד. את ארגז הכלים הזה היא צריכה להנחיל כמובן לסטודנטים, אבל גם לסייע להנחיל אותו בקרב תלמידים בבתי הספר.

בשלב ראשון, לכל הפחות, יש לדאוג שדרישות הקבלה לאקדמיה לא יתבססו רק על ציוני בחינות הבגרות במתמטיקה, פיזיקה ואנגלית, אלא יכילו גם את המיומנויות שאותן הזכרתי. מיון על בסיס מיומנויות כבר נפוץ ביחידות הטכנולוגיות של הצבא ובתעשיית ההייטק, ומתפתחים כלים חדשים ללמד ולבדוק את רכישת המיומנויות הללו.

עקב בעיית המחסור במורים, בעיקר כאלה המיומנים בכל היכולות הנדרשות, האקדמיה צריכה לפתח מסלולים להכשרת מורים, לחזק תוכניות בלתי פורמליות שבהן סטודנטים יכולים להיות כוח עזר, ולפתח מודלים דומים למרכזי הפיזיקה של שוורץ-רייזמן בשיתוף עם מכון וייצמן. פיתוח יכולות יאפשר גם הכשרת מהנדסים שנמצאים כבר בשוק העבודה וסיימו את לימודיהם לפני שנים ועומדים בפני סכנה של אובדן הרלבנטיות ואובדן מקום העבודה אל מול הצעירים שלמדו והתחנכו לעולם החדש.

האקדמיה צריכה לאמץ תוכניות מודולריות, קורסים מקוונים, ומיקרו-תארים שיאפשרו למידה מתמשכת לאורך החיים (Lifelong Learning) ויעניקו כלים לשדרוג מיומנויות (upskilling & reskilling) בהתאם לשינויים התכופים בשוק העבודה.

לסיכום: עתיד האקדמיה בעידן הבינה המלאכותית

האקדמיה ניצבת כיום בפני אתגר עצום, אך גם בפני הזדמנות חסרת תקדים. עליה לאמץ גישה חינוכית חדשה שתצייד את הבוגרים לא רק בידע אלא ביכולות ובמיומנויות הדרושות להתמודדות עם העולם המורכב והמשתנה

בקצב המהיר של המאה ה-21. התמקדות בחשיבה ביקורתית, יצירתית, רב-תחומית ואתית, לצד שימוש מושכל בבינה מלאכותית ככלי לשדרוג יכולות אלה, יאפשרו לאקדמיה להמשיך למלא תפקיד מרכזי ביצירת חדשנות, והובלה ופיתוח של ידע וכוח אדם מיומן שישרת את החברה בכלכלה המבוססת על ידע ומדע.

השינוי הנדרש אינו טכנולוגי בלבד אלא פדגוגי ופילוסופי. האקדמיה חייבת להשתנות ממוסד שמעביר ידע קיים למוסד שמפתח יכולות חשיבה, יצירתיות והסתגלות. זהו אתגר משמעותי, אך גם הזדמנות להוביל שינוי חברתי וכלכלי חיובי.

לכן יש צורך בשלושת התהליכים הבאים:

- הגדרת "ארגז הכלים החדש" – שילוב מיומנויות AI, אתיקה, רב-תחומיות, אוריינות מתקדמת ולמידה עצמאית כחלק מכל תוכנית לימוד.
- חיזוק הקשר והשותפויות בין האקדמיה, התעשייה והמערכות הציבוריות (ממשלה, צבא, תעשייה) – בדגש על פעילות מחקרית, פיתוח שיטות לימוד חדשניות, והכשרה לתואר וגם לכל אורך החיים.
- מחויבות ברורה לשינוי – מהנהלת האקדמיה ועד לתוכניות הלימוד, כדי להכשיר את הדורות הבאים להתמודדות עם עולם מורכב, דינמי ועתיר טכנולוגיה.

לאקדמיה יש הזדמנות נדירה למצב את עצמה כמנוע של חדשנות, הובלה ויצירת ידע, המתאימה עצמה לעולם הדינמי בן זמננו וממשיכה להוות כלי מרכזי והכרחי בשמירת היתרון הטכנולוגי והכלכלי של ישראל בזירה העולמית.

שינוי זה אינו רק אפשרי אלא חיוני. האתגר כעת הוא להרחיב את החזון הזה לכלל מערכת החינוך הגבוהה, ולהבטיח שהדור הבא של מהנדסים וחוקרים יהיה מצויד בכלים הנדרשים לא רק לשרוד אלא לשגשג בעידן הבינה המלאכותית. רק כך נוכל להבטיח שהאקדמיה תמשיך למלא את תפקידה הקריטי בעיצוב העתיד של החברה והכלכלה.

מקורות

/World Economic Forum (2025). *The Future of Jobs Report 2025*. <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025>



התאמת לימודי ההנדסה למאה ה-21: דוח ועדת מל"ג

יוסי רוזנווקס

פרופ' יוסי רוזנווקס משמש כנשיא הרביעי של אפקה, המכללה האקדמית להנדסה בתל אביב, וכיו"ר ועדת המשנה התחומית לטכנולוגיה והנדסה במל"ג. כיהן כדיקאן הפקולטה להנדסה באוניברסיטת תל אביב. פרופ' רוזנווקס הוא מומחה בתחום הנדסת חשמל ואלקטרוניקה וחוקר בעל שם עולמי בתחום הננוטכנולוגיה. מחקריו מתמקדים בנו אלקטרוניקה ובעיקר בפיתוח חיישנים מולקולריים מבוססי טרנזיסטורים בקנה מידה ננומטרי. בעבר שימש, בין השאר, כראש מרכז וולפסון לחומרים ומרכז גורדון לאנרגיה, ראש המחלקה לאלקטרוניקה פיזיקלית באוניברסיטת תל אביב ומייסד וראש המרכז לאנרגיה מתחדשת באוניברסיטת תל אביב. כתב יותר מ-200 מאמרים מדעיים שפורסמו בכתבי עת מובילים, ולזכותו רשומים יותר מ-10 פטנטים שחלקם הובילו להקמת חברות הזנק.

ועדת המל"ג בראשותי בחנה את לימודי ההנדסה בישראל ומצאה שהם נהפכו לפחות רלוונטיים. ההשוואה הבין-לאומית חשפה שתוכניות הלימוד בישראל ארוכות מדי (180 ש"ס לעומת 130-150 בעולם), עם דגש מופרז על מקצועות מבוא (52 נ"ז) וכמעט ללא לימודים כלליים (4 ש"ס בלבד). ההמלצות המרכזיות: שמירה על תואר של 160 נ"ז, אפשרות לתואר דו-חוגי בהנדסה עם מדעים מדויקים, הוספת 20-30 נ"ז של מקצועות לא-הנדסיים ושילוב מיומנויות רכות. ללא רפורמה מקיפה, ישראל עלולה לאבד את יתרונה הטכנולוגי.

הקדמה: משבר הרלוונטיות בחינוך ההנדסי

כחבר המועצה להשכלה גבוהה (מל"ג) וכמי ששימש בעבר כדיקאן הפקולטה להנדסה באוניברסיטת תל אביב, זכיתי להוביל ועדה ייחודית שמטרתה לבחון מחדש את לימודי התואר הראשון בהנדסה בישראל. הוועדה, שהוקמה על ידי המל"ג, נועדה להתמודד עם האתגרים של שינויים טכנולוגיים מהירים ושוק עבודה דינמי. כיו"ר ועדת המשנה התחומית לטכנולוגיה והנדסה, ראיתי את הצורך הדחוף והחשוב להתאים את לימודי ההנדסה למאה ה-21 (מל"ג, 2023). דוח זה מציג את הרקע, התהליך וההמלצות של עבודת הוועדה, תוך התבססות על נתונים מדויקים, השוואות בין-לאומיות מקיפות ועדויות מהשטח. המסקנה המרכזית שעלתה לאורך כל דיוני הוועדה היא חדה וברורה: לימודי ההנדסה נהפכו לפחות רלוונטיים בשנים האחרונות, ונדרשת רפורמה מקיפה ומיידית כדי לשמור על מעמדה של ישראל כמעצמה טכנולוגית.

עבודת הוועדה התבססה על ניתוח מעמיק של נתונים כמותיים ואיכותיים, כולל השוואות מפורטות בין תוכניות לימודים בישראל למוסדות מובילים בעולם. הניתוח חשף פערים משמעותיים בהיקף הלימודים, במבנה התוכניות,

ובהתאמה לצורכי השוק המשתנים. במסגרת העבודה שמענו עדויות מנציגי תעשייה בכירים, ראשי מוסדות אקדמיים, חברי סגל וסטודנטים, שכולם הצביעו על הצורך הדחוף בשינוי. הדוח שלפניכם מציג תמונה מקיפה ומדויקת של המצב הקיים, תוך הצעת פתרונות מעשיים וישימים לאתגרים שזוהו. חשוב להדגיש כי כל הנתונים והמסקנות המוצגים כאן מבוססים על מקורות מהימנים ועדכניים, ונבדקו בקפידה על ידי חברי הוועדה והצוות המקצועי של המל"ג.

הרקע להקמת הוועדה: מציאות משתנה ואתגרים מורכבים

זה כמה שנים אנו נמצאים בעידן הכולל שינויים דרמטיים בהשכלה הגבוהה בכלל ובלימודי ההנדסה בפרט. הכוחות המניעים העיקריים של שינויים אלה הם הצרכים המשתנים של התעשייה, המהפכה התעשייתית הרביעית, המהפכה של זמינות ונגישות של ידע ומידע, ופרופיל הסטודנט במאה ה-21. המהנדס המודרני נדרש להיות רב-תחומי, כלומר בעל ידע וכישורים ביותר מתחום הנדסי אחד ו/או מתחומי המדעים המדויקים. בנוסף לידע הנרכש, למהנדס במאה ה-21 נדרשים כישורים רבים מעבר להנדסה, המכונים לעתים קרובות "כישורים רכים" ולאחרונה נחשבים ככישורים חיוניים. מדובר ביכולות כמו חשיבה ביקורתית, פתרון בעיות מורכבות, עבודת צוות רב-תרבותית, תקשורת אפקטיבית, ויכולת הסתגלות מהירה לטכנולוגיות ומתודולוגיות חדשות.

השינויים המדעיים והטכנולוגיים בשנים האחרונות הם מהירים במיוחד, כך שהכשרת המהנדס עם סיום התואר הראשון נהפכת לפחות רלוונטית לאחר שנים ספורות בלבד. דוגמה בולטת לכך היא שהסטודנטים שסיימו ללמוד תואר ראשון לפני ארבע או חמש שנים לא למדו קורסים בלמידת מכונה (Machine Learning), והיום זו אחת המיומנויות המבוקשות ביותר בשוק (WEF, 2025). קיימות דוגמאות נוספות רבות – בינה מלאכותית, עיבוד שפה טבעית, ראייה ממוחשבת, ועוד תחומים שנהפכו למרכזיים בתעשייה אך כמעט ולא נלמדו לפני כמה שנים. לאור זאת, חייבים ליצור מתווה להמשך הקניית ההשכלה (Lifelong learning), בין השאר על ידי מודולים קטנים – כלומר מקבצים נושאים בתחומים חשובים. יכולת הלימוד העצמי ולימודים לאורך הקריירה נהפכו לקריטיים – חשוב לתת בסיס לימודים חזק שבמסגרתו יוקנו לסטודנטים יכולות למידה עצמאית, באופן שיוכלו להשלים בהמשך דרכם המקצועית את הנושאים החדשים ולהתעדכן בתחומים נוספים.

אחד הממצאים המטרידים שעלו בעבודת הוועדה הוא הפער הגדל בין מה שנלמד באקדמיה לבין הצרכים האמיתיים של התעשייה. בעקבות השינויים הטכנולוגיים המהירים, מקצועות הבחירה שנלמדים במסגרת התואר הראשון נהפכים לפחות חשובים לאחר כמה שנים. נוצר מצב שעל הבוגר ללמוד בצורה עצמאית נושאים ותחומים חדשים. ככל שהבוגר יהיה בעל יכולות למידה עצמאיות טובות יותר, הוא יוכל להתמודד עם אתגר זה. בנוסף, גילינו שבהרבה אוניברסיטאות מובילות בעולם התארים הנדסיים קצרים יותר, כ-130-150 שעות סמסטריאליות, בעוד שבשראל התוכניות כוללות בדרך כלל יותר מ-180 שעות. פער זה מעלה שאלות קשות לגבי היעילות והרלוונטיות של המבנה הקיים.

תופעה מדאיגה נוספת היא הביקוש הגדול לתארים המשלבים הנדסה ומדעים או לימודי הנדסה בתחומים שונים. אולם, תארים מסוג זה מחייבים כיום לימודי "תואר כפול" הנמשכים לכל הפחות לאורך תשעה סמסטרים, תקופה ארוכה מדי עבור הסטודנט הממוצע. הדבר יוצר מצב פרדוקסלי – מצד אחד התעשייה דורשת בוגרים עם ידע רב-תחומי, ומצד שני המערכת האקדמית מקשה מאוד על רכישת ידע כזה במסגרת זמן סבירה. לכן, יש צורך לייעל את תוכניות הלימודים המשולבות שתתרום גם טוב יותר להכשרת הבוגר לצרכיו הדינמיים של עולם ההייטק. יתרה מכך, חברות רבות מגייסות עובדים שלא למדו הנדסה כלל או שעברו הכשרות מקצועיות קצרות שיותר רלוונטיות לשוק העבודה (רשות החדשנות, 2022). עובדה זו צריכה להמריץ את מוסדות ההשכלה הגבוהה להפוך את לימודי ההנדסה ליותר אטרקטיביים ויותר רלוונטיים לתעשייה העילית (הייטק). אם התוכניות ואופי הלימודים לא ישתנו, עלולה להיות ירידה משמעותית במספר הסטודנטים אשר ילמדו את מקצועות ההנדסה בעתיד.

השוואה מפורטת ללימודי הנדסה במוסדות מובילים בעולם

כחלק מרכזי מעבודת הוועדה, ערכנו השוואה מקיפה בין לימודי הנדסת חשמל בכמה מוסדות מובילים בעולם לבין המקובל בישראל. חשוב לציין שכיוון שהיקף והרכב תוכניות הלימוד בהנדסה בישראל דומה מאוד בכל המוסדות ובכל התחומים, לימודי הנדסת חשמל המוצגים בניתוח שלנו הם דוגמה טובה לכל התחומים והמוסדות. הניתוח התבסס על נתונים מפורטים שנאספו ממוסדות כמו MIT, Stanford, Zurich ETH, ומוסדות מובילים נוספים, והשווה אותם למבנה התוכניות בישראל. התוצאות היו חד-משמעיות ומטרידות.

מהניתוח עלו כמה מסקנות בולטות: ראשית, ניתן לראות בברור כי מספר השעות הסמסטריאליות ברוב המוסדות בעולם נמוך בהרבה מהנהוג בישראל. בעוד שבישראל התוכניות כוללות בדרך כלל יותר מ-180 שעות סמסטריאליות, במוסדות המובילים בעולם ההיקף נע בין 130 ל-150 שעות (OECD, 2023). פער זה מעלה שאלות על יעילות התוכניות הישראליות ויכולת הסטודנטים להתמקד בלימודים המהותיים. שנית, מספר השעות במקצועות המבוא (בעיקר מתמטיקה ופיזיקה) גבוה בהרבה בישראל ביחס למוסדות האיכותיים בעולם. בישראל, כ-52 נקודות זכות מוקדשות למקצועות מבוא, בעוד שבמוסדות מובילים בעולם המספר נמוך משמעותית (מל"ג, 2023). שלישית, ואולי המטריד ביותר – היקף הלימודים הכלליים נמוך באופן משמעותי בישראל ביחס למוסדות המובילים בעולם. בישראל נדרשות רק כארבע שעות סמסטריאליות של לימודים כלליים, בעוד שבמוסדות כמו MIT או Stanford הדרישה היא לעשרות שעות של לימודים במדעי הרוח, החברה והאמנויות (ABET, 2023).

הניתוח המפורט חשף גם את ההבדלים בהרכב התוכניות. בישראל, מספר השעות במקצועות הבחירה ההנדסיים גבוה בהרבה ביחס למוסדות מובילים בעולם – כ-64 נקודות זכות לעומת 30-40 במוסדות מובילים. מצד אחד, זה נותן לסטודנטים גמישות רבה בבחירת התמחות, אך מצד שני זה בא על חשבון לימודים רב-תחומיים וכישורים רכים. במקצועות הבסיס ההנדסיים (כ-44 נקודות זכות), המוסדות הישראליים נמצאים במקום טוב באמצע ההשוואה הבין-לאומית. אולם, במקצועות שאינם מתחום ההנדסה, הפער עצום – כארבע שעות בלבד בישראל לעומת עשרות שעות במוסדות בעולם. פער זה משקף תפיסה צרה של החינוך ההנדסי, המתמקדת בידע טכני על חשבון הבנה רחבה של ההקשר החברתי, התרבותי והאתי של העבודה ההנדסית.

ההשוואה הבין-לאומית מלמדת על הבדלי גישה עמוקים בתפיסת החינוך ההנדסי. בעוד שבישראל הדגש הוא על הקניית ידע טכני מעמיק ומקיף, במוסדות המובילים בעולם יש הכרה גוברת בחשיבות של חינוך רחב ורב-תחומי. הגישה העולמית מכירה בכך שהמהנדסים של המאה ה-21 צריכים להיות לא רק מומחים טכניים, אלא גם מנהיגים, חדשנים ואזרחים מעורבים. הם צריכים להבין את ההשלכות חברתיות של עבודתם, לתקשר ביעילות עם קהלים מגוונים, ולעבוד בצוותים רב-תחומיים ורב-תרבותיים. התוכניות בישראל, עם הדגש הכבד על מקצועות טכניים והזנחת הלימודים הכלליים, מכינות בוגרים שאולי מצוינים מבחינה טכנית, אך חסרים את הכישורים והפרספקטיבה הרחבה הנדרשים בעולם המודרני.

עבודת הוועדה: תהליך מקיף של למידה והקשבה

הוועדה שהוקמה כללה נציגים בכירים מהאקדמיה והתעשייה. מלבדי כיהנו בוועדה: פרופ' נעם אליעז (מדע והנדסה של חומרים), דקאן הפקולטה להנדסה באוניברסיטת תל אביב; ד"ר דיצה ביימל (הנדסת תעשייה וניהול, מדעי המחשב), המרכז האקדמי רופין; פרופ' זהבה בלכמן (הנדסה רפואית), אפקה, המכללה האקדמית להנדסה בתל אביב; גב' מירב בן חמו קריאף (נציגת תעשייה, הנדסה כימית), אינטל; פרופ' זאב זלכסקי (הנדסת חשמל), דקאן הפקולטה להנדסה באוניברסיטת בר אילן; פרופ' רמי עיד (הנדסה אזרחית), המכללה האקדמית להנדסה בראודה בכרמיאל; ופרופ' דורון שילה (הנדסה מכנית), הפקולטה להנדסת מכונות בטכניון, מכון טכנולוגי לישראל. ההרכב המגוון של הוועדה הבטיח ייצוג של מגוון נקודות מבט – מוסדות מחקר ומכללות, תחומי הנדסה שונים, ונציגות מהתעשייה.

במהלך עבודתה, הוועדה שמעה כמה נציגים הן מהאקדמיה והן מהתעשייה. אחת העדויות המשמעותיות ביותר הגיעה ממר דדי פרלמוטר, סגן נשיא בכיר בחברת אינטל העולמית ובעבר יו"ר הוועדה הלאומית להגדלת ההון האנושי בהייטק (וכיום יו"ר הוועד המנהל של הטכניון). פרלמוטר פרס את משנתו בנושא אקדמיה מותאמת הייטק, והדגיש את הצורך בחיזוק כישורים ואוריינות דיגיטלית בכל תוכניות הלימודים, הוספת קורסים בסיסיים בסטטיסטיקה ובמדעי הנתונים, ושימוש בבינה מלאכותית הן ככלי פיתוח והן ככלי לימודי (פרלמוטר, 2021). נוסף על כך, הוא המליץ לפתח ולשדרג את תוכניות הלימודים ולהתאימן לעידן הטכנולוגי המתפתח, לצד יצירת דיסציפלינות חדשות מותאמות הייטק ומקצועות הצמיחה (ניהול מוצר, כתיבה טכנית ועוד). פרלמוטר הדגיש כי היום נדרשת מהסטודנט יכולת גבוהה יותר ואינטגרציה של כמה תחומי לימוד, ועם זאת יש צורך להתאים את צורת הלימודים ותוכנם לדור ה-Z, ולבדוק אם יש מקום לקצר את משך שנות הלימודים הפורמליים בהנדסה לשלוש שנים ולנצל את השנה הנותרת לשיתוף עם התעשייה באינטגרציה עם ידע והשלכות מעשיות.

הוועדה שמעה בהרחבה גם את גב' מירב בן חמו קריאף, נציגת התעשייה בוועדה מחברת אינטל. לדבריה, תחום ההנדסה הוא תחום שמשתנה כל הזמן, והציפיות מההנדס בימינו כל אינן דומות לציפיות שהיו ממנו לפני שני עשורים, ואפילו גם לא לפני עשור. התעשייה מוצאת את עצמה מלמדת ומכשירה מהנדסים במשך חודשים רבים בידע שהם לא מקבלים באקדמיה, ולמעשה לוקח זמן רב עד שהמהנדס החדש תורם לחברה בה הוא עובד. אם נתייחס לדוגמה לעולם נתוני העתק (big data), המשמעות היא שכל מהנדס חייב לדעת היום להתמודד עם כמות נתונים אדירה, לנתח אותם ולהסיק מסקנות מהירות. דבר זה מצריך לימוד שיטות ניתוח מתקדם, למידת מכונה, סטטיסטיקה מכוונת הייטק, ובייחוד הסקת מסקנות, וכן חייבים להעמיק ולהרחיב את לימודי התכנות. בן חמו הדגישה כי עשרות מהנדסים שסיימו לימודיהם בהצטיינות, שיוצאים את החומר מבחינה תיאורטית, אינם יודעים לקשר בין הידע התיאורטי שצברו לבין העולם האמיתי כשהם ניגשים לפתור בעיה הנדסית. לדעתה, לימודי ההנדסה חייבים להיות רלוונטיים יותר לעולם התעסוקה המודרני.

עדות חשובה נוספת הגיעה מעמי מויאל, נשיא אפקה (כיום מכהן כיו"ר ות"ת), שסיפר על השינויים שהם עורכים בתוכניות הלימודים במכללה בעקבות עבודת שטח נרחבת של הנהלת המוסד וראשי התוכניות בהנדסה, שכללה גם סיורים במוסדות להשכלה גבוהה מובילים בעולם. למשנתו, לימוד מקצוע ההנדסה הוא חלק מתהליך חינוכי ארוך טווח, ולא רק הכשרה לשוק התעסוקה, על כן נדרשת ראייה רחבה יותר של לימודי ההנדסה. לדעתו, המשימה החשובה ביותר של הוועדה היא למצוא את הדרך לשמור על רלוונטיות התואר בהנדסה. לשיטתו, יש לתת את הדעת גם לשינויים משמעותיים בחינוך מהנדסים ברמה העולמית: המוסדות המסורתיים מאבדים את ההובלה שלהם ומוסדות רבים אימצו גישות חדשניות כמו הקניית כישורים רכים, קשר עם התעשייה, רב-תחומיות, וחלקם נהפכים עקב כך לאטרקטיביים יותר.

פרופ' מויאל הדגיש כי הכניסה של כלים מבוססי AI רק מעצימה את הצורך ברלוונטיות הלימודים. לדוגמה, אם מבקשים היום מההנדס לסכם שלושה מאמרים ולהמליץ על גישות לפתרון הבעיה, יש לו כבר היום כלי AI שעושים זאת תוך כמה דקות. מכאן חשוב להדגיש כי מה שצריך מההנדס המודרני זה ללמוד חשיבה ביקורתית, ללמוד להבדיל בין עיקר לטפל. הכניסה של כלי AI השונים ללמידה והוראה רק מעצימה את הצורך במיומנויות ובכללי אתיקה ברורים. פרופ' מויאל סקר את התהליך הסדור שבוצע ב"אפקה" להטמעת מיומנויות הנדסיות ואישיות (כגון תקשורת בע"פ ובכתב, חשיבה ביקורתית, לימוד עצמי ועבודת צוות) בקורסים השונים של התואר. הוא המליץ להגדיר את התואר בהנדסה על סמך אשכולות בסיס ולשקול תואר דו-חוגי, תואר ראשי בהנדסה ומשני באחר, מסגרת של 20-30 נ"ז לכמה מקבצים בנושאים כגון מובילות מערכתית, אוריינות דיגיטלית, טכנולוגיות מתקדמות ומדעי הרוח והחברה, ולהציע לימודי שנה ראשונה או מודולים משותפים לסטודנטים בתוכניות ההנדסה השונות. בנוגע להכרה בנקודות זכות על סמך התמחות תעשייה, פרופ' מויאל הדגיש שההתמחות חייבת להיות תחת השגחה על מנת להבטיח רמה נאותה.

לאחר שלמדה ובחנה תוכניות לימודים שונות בארץ ובעולם ולאחר דיון ארוך ומעמיק, הוועדה החליטה להתרכז

בנושאים הבאים: היקף הלימודים לתואר גמישות במבנה התואר ההנדסי, תואר דו-חוגי, תואר ראשי-משני (Major-Minor); האם נדרשים לימודים כלליים ובאיזה היקף – עומק דיסציפלינרי מול רב-תחומיות; תחומים וכישורים נוספים הנדרשים בתעשייה (נושאים במדע נתונים, בינה מלאכותית ועוד); שילוב התמחות (סטאז') בתעשייה; לימודים לאורך הקריירה; ומיומנויות בתחום הכישורים הנלווים (חשיבה יצירתית, עבודת צוות, למידה עצמית, מיומנויות בכתובה, קריאה והצגת נושאים מקצועיים בעברית ובאנגלית).

המלצות הוועדה: מתווה מקיף לרפורמה בחינוך ההנדסי

לאחר תהליך מעמיק של למידה, ניתוח ודיונים, גיבשה הוועדה סדרה של המלצות מפורטות ומעשיות:

1. היקף הלימודים לתואר:

הוועדה הגיעה למסקנה כי מספר שנות התואר והיקף נ"ז צריכים להישאר ולהיפרש על פני ארבע שנים, והיקף הלימודים לא יפחת מ-160 נ"ז. אחד הנימוקים העיקריים בבסיס החלטה זו היא כי המהנדס המודרני חייב להיות רב-תחומי, בעל ידע וכישורים ביותר מתחום הנדסי אחד. בנוסף, נדרשים ממנו גם כישורים רבים מעבר להנדסה, מה שנקרא פעמים רבות "כישורים רכים" (מל"ג, 2014). החלטה זו מאזנת בין הצורך בהקניית בסיס תיאורטי מוצק לבין הדרישה לגמישות ורלוונטיות.

2. גמישות במבנה התואר ההנדסי:

א. **תואר דו-חוגי:** הוועדה דנה בהרחבה ולעומק לאורך כמה ישיבות באפשרות של תואר דו-חוגי בהנדסה. כפי שצוין, המהנדס המודרני חייב להיות בעל ידע וכישורים ביותר מתחום הנדסי אחד. לדוגמא, במקרים רבים מהנדס אלקטרוניקה חייב ללמוד לעומק נושאים מהנדסה מכנית (מעבר חום, תכן מכני ועוד) וההפך, מהנדס מכונות חייב ללמוד עיבוד אותות מתקדם לטובת אנליזת נוזלים. לדעת הוועדה ולדעת המומחים שזומנו לישיבות, מהנדס מכונות (לדוגמה) יהיה מהנדס טוב יותר אם ירכוש ידע מעמיק במקצועות הפיזיקה, מדעי המחשב ומדעי הנתונים. לאור זאת, הוועדה המליצה לאפשר את לימודי ההנדסה במתכונת דו-חוגית בצירוף חוג מתחום המדעים המדויקים או מתחום הנדסה אחר בלבד, שמקצועות החובה בו כוללים לפחות 35 נ"ז מהתחומים הבאים: מתמטיקה, פיזיקה, כימיה, מדעי המחשב ומדעי הנתונים (מל"ג, 2023).

חשוב לציין כי ההמלצה שלא לקצר את התואר בהנדסה מתחת ל-160 נ"ז אינה עומדת בסתירה לתואר הדו-חוגי המוצע. תואר הנדסי חד-חוגי אופייני בישראל כולל כ-52 נ"ז במקצועות מבוא, 44 נ"ז במקצועות חובה הנדסיים ו-64 נ"ז במקצועות בחירה הנדסיים. תואר דו-חוגי טיפוסי כמוצע לעיל יכלול את רוב מקצועות החובה בכל חוג (קורסים כפולים יילמדו פעם אחת) ומקצועות בחירה. מכאן נובע שההבדל העקרוני בין תואר חד-חוגי לתואר דו-חוגי הוא בהיקף מקצועות הבחירה הנדסיים. הוועדה ממליצה שתואר דו-חוגי יוכל להתקיים רק במוסד שיש לו הסמכה להעניק תואר חד-חוגי בתחום.

ב. **תואר ראשי-משני (Major-Minor):** הוועדה שמעה מהצוות המקצועי של מל"ג כי בעבר היה קיים תואר כזה. בעקבות פניות של נציבות שירות המדינה בדבר חוסר היכולת להכריע בעניין משמעות התואר המשני וההשלכות של הדבר על היכולת לאפשר לאותם הבוגרים לגשת למכרזים ממשלתיים או להתקבל לתעשייה עם התעודה שקיבלו, החליטה המל"ג כי אין מקום לקיים תוכניות במבנה ראשי-משני. לאחר שהוועדה למדה על הקשיים של הסטודנטים בקבלה למקומות עבודה, הוועדה סבורה כי החלטת המל"ג מוצדקת וכי אין מקום לאשר תוכניות במבנה של תואר ראשי-משני (מל"ג, 2023).

ג. **מקבץ קורסים שאינם הנדסיים:** בנוסף, הוועדה סבורה כי יש מקום לאפשר במסגרת תוכנית הלימודים לתואר ראשון בהנדסה (במתכונת חד-חוגית) גם מקבצי קורסים במקצוע שאינם מתחום ההנדסה, וזאת בהיקפים של לא

פחות מ-20 נקודות זכות ולא יותר מ-30 נקודות הזכות. למען הסר ספק, גם הקורסים הכלליים נכללים בהיקף הזה.

במסגרת הקורסים הכלליים הנ"ל הוועדה ממליצה למל"ג לבקש מהמוסדות לבחון הכללת הנושאים הבאים: כישורים דיגיטליים; מדעי הרוח והחברה; טכנולוגיות מתקדמות; ניהול ויזמות; תחומים וכישורים הנדרשים בתעשייה (לדוגמה, עיצוב מוצר). הוועדה ממליצה להוסיף חלק מהקורסים המוצעים כקורסי חובה כדי להקנות לסטודנט בסיס בהבנה במדעי החברה והרוח, בנוסף, כמו כן, ממליצה הוועדה לשלב במסגרת הקורסים השונים הקיימים בתואר הקניית מיומנויות שונות כמו שמתואר לעיל. מיומנויות אלה מהותיות בכל תחום תעסוקתי כיום, והן תורמות להצלחה בהיטק הן במקצועות הטכנולוגיים והן במקצועות הצמיחה (WEF, 2023).

3. מיומנויות אישיות:

הוועדה ממליצה כי המוסדות להשכלה גבוהה המקיימים תוכניות לימודים בהנדסה ישלבו הנחלת מיומנויות אישיות ומקצועיות במסגרת קורסים קיימים ו/או פעילות מחוץ לתוכנית הלימודים הפורמלית. מיומנויות אלו נדרשות לסטודנטים להשכחת תהליך הלמידה שלהם, הן כסטודנטים במוסד האקדמי והן בהמשך הלמידה לאורך החיים, לעבודה בתעשייה ולביצוע מחקר ופיתוח, הן בתעשייה והן באקדמיה.

הוועדה ממליצה על הנחלת המיומנויות העיקריות הבאות:

- **מיומנויות אישיות:** חשיבה ביקורתית, למידה עצמית, יכולת הצגה אפקטיבית בכתב ובעל פה ועבודה בצוות רב-תחומי.
- **מיומנויות מקצועיות:** תכנון וביצוע ניסויים (Design of Experiments), כינון ומימוש מערכת או חלקה ע"פ צרכים וראייה מערכתית.
- **פתרון בעיות הנדסיות** ברמת סיבוכיות שונות עד לדרגת סיבוכיות גבוהה הדורשת עבודת צוות רב-תחומית תוך התחשבות במגוון שיקולים: אתיים, סביבתיים, בטיחותיים, כלכליים, ניהוליים, חברתיים ומגדריים (רשות החדשנות, 2022).
- כמו כן הוועדה ממליצה למוסדות להשכלה גבוהה המקיימים תוכניות לימודים בהנדסה לעדכן את תוכניות הלימודים ולהוסיף קורסים מתחומי הידע הבאים:
- **כישורים דיגיטליים** – שפת תכנות מתקדמת, ארגון המחשב ושפת סף, תיב"ס, יסודות האלגוריתמיקה, למידה חישובית, פתרון בעיות מורכבות.
- **איסוף וניתוח נתונים (מסדי עתק) ויישומי AI** – תוכן מונע סימולציה, קורס/מעבדה התנסותית – אינטגרטיבית, רובוטקה ומדע הנתונים.
- **מדעי הרוח והחברה** – אתיקה בהנדסה, רטוריקה וארגומנטציה, קריאה וכתבה, הנדסה כלכלית ומעגלית, אנרגיות מתחדשות ומדיניות ציבורית, כלכלה, ניהול פרויקטים ומערכת, פילוסופיה של הטכנולוגיה.
- **טכנולוגיות מתקדמות** – מבוא לרובוטקה, מעבדה לרובוטקה, הדפסה בתלת-ממד, מבוא לראייה ממוחשבת, ארכיטקטורה של מחשבים, מבוא לניטור ובקרה, מציאות מדומה.

4. התנסות מעשית בתעשייה:

הוועדה סבורה כי שילוב סטודנטים בתעשייה כחלק מלימודי התואר הראשון עשוי לתרום רבות לסטודנט, יחשוף אותו לפרקטיקה מעשית, לפרויקטים רלוונטיים לתעשייה העילית, ולנושאים רבים אותם הוא נדרש ללמוד

באופן עצמאי. עם זאת, הוועדה סבורה כי שילוב הסטודנט בתעשייה אינו יכול לבוא במקום פרויקט הגמר, ויהיה אפשרי רק אם המוסד יפקח על התנסות זו ויוודא כי הסטודנטים בחרו נושא מחקרי, יתנסו בזיהוי בעיה, ניתוחה, איסוף נתונים, בניית מודל פתרון ושלב האיפיון, כתיבת קוד ובניית מערכת (IVC, 2024).

עמדת רשם המהנדסים והתייחסות להשלכות המעשיות

רשם המהנדסים, מר סטפן אבו חדרה, בירך על עבודת הוועדה וציין שהשינויים הם הכרחיים לתוכניות הלימודים בהנדסה, וכן הוסיף שצריך לחשוב על צירופים מתאימים בתואר במתכונת דו-חוגית המוצעת ולוודא שיש לסטודנט את הידע הנחוץ במקצועות הליבה. בנוסף הוא ציין שישנם כיום קורסים רבים בתוכניות הלימודים אשר אינם רלוונטיים. לעומתם, ישנם נושאים רבים שהתחדשו ולכן יש צורך לעדכן את תוכניות הלימודים והתכנים בקורסים השונים.

רשם המהנדסים הביע חשש שהמקצועות שאינם הנדסיים (בהיקף המקסימלי של 30 ש"ס שאנחנו מציעים) יפגעו בהכשרה הבסיסית של המהנדס. לאחר השינויים המוצעים, תואר טיפוסי בהנדסה יכלול 40-50 ש"ס של מקצועות יסוד, 40-50 ש"ס של מקצועות חובה הנדסיים, ואז נשארות 60 עד 80 ש"ס במקצועות בחירה הנדסיים. הוועדה סבורה כי אם מתוך 60-80 ש"ס של מקצועות הבחירה ההנדסיים, סטודנט ילמד מקסימום של 30 ש"ס שאינם הנדסיים הדבר לא יפגע בהכשרת כמהנדס אלא רק ישפר אותה כפי שמוסבר בפירוט בדוח זה (מל"ג, 2023).

סיכום והשלכות עתידיות

עבודת הוועדה חשפה את הצורך הדחוף והחשוב בהתאמת לימודי ההנדסה למאה ה-21. הנקודה המרכזית שעלתה לאורך כל דיוני הוועדה היא שלימודי ההנדסה נהפכו לפחות רלוונטיים בשנים האחרונות, וללא שינוי משמעותי, מערכת החינוך ההנדסי בישראל עלולה לאבד את יתרונה היחסי. ההמלצות שגובשו מציעות איזון עדין בין שמירה על רמה אקדמית גבוהה לבין הצורך בגמישות, רלוונטיות והתאמה לעולם משתנה.

היישום המוצלח של ההמלצות דורש שיתוף פעולה בין כל הגורמים – המל"ג, המוסדות האקדמיים, התעשייה והסטודנטים. השינוי לא יהיה קל, והוא דורש משאבים, מחויבות וחזון ארוך טווח. אולם, ללא שינוי זה, נמצא את עצמנו מכשירים מהנדסים שאינם מוכנים לאתגרי המחר, ומאבדים את מעמדנו כמובילים בחדשנות טכנולוגית.

כנשיא אפקה – המכללה האקדמית להנדסה בתל אביב, אני מחויב ליישום ההמלצות ולהובלת השינוי. המוסד שלנו כבר החל בתהליכים של שינוי והתאמה, ואנו רואים את התוצאות החיוביות. אני קורא לכל העוסקים בחינוך הנדסי בישראל לאמץ את הרוח של השינוי ולעבוד יחד למען עתיד טוב יותר לבוגרינו ולמדינת ישראל.

הדרך קדימה ברורה – עלינו לשמור על המצוינות האקדמית תוך פתיחות לשינוי וחדשנות. רק כך נוכל להבטיח שהמהנדסים הישראליים של המחר יהיו מוכנים לאתגרים ולהזדמנויות של המאה ה-21, וישמרו על מעמדה של ישראל כמעצמה טכנולוגית עולמית.

מקורות

- הלמ"ס (2021). נתוני סטודנטים בהשכלה גבוהה 2020/2021. ירושלים: הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. זמין ב- <https://www.cbs.gov.il/>.
- הלמ"ס (2023). נתוני סטודנטים ובוגרים בהשכלה גבוהה 2022/2023. ירושלים: הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. זמין ב- <https://www.cbs.gov.il/>.
- IVC (2024). *Israel High-Tech Report 2023-2024*. IVC Research Center. זמין ב- <https://www.ivc-online.com>.
- מל"ג (2014). דוח על מערכת ההשכלה הגבוהה בישראל. ירושלים: המועצה להשכלה גבוהה. זמין ב- <https://che.org.il/>.
- מל"ג (2021). דוח פתיחת שנת הלימודים 2021/2022. ירושלים: המועצה להשכלה גבוהה. זמין ב- <https://che.org.il/>.
- מל"ג (2023). דוח הוועדה לבחינת לימודי התואר הראשון בהנדסה. ירושלים: המועצה להשכלה גבוהה. זמין ב- <https://che.org.il/>.
- מל"ג (2025). כישורי פתרון בעיות של בוגרי השכלה גבוהה בישראל. ירושלים: המועצה להשכלה גבוהה. זמין ב- <https://che.org.il/>.
- NCSES (2023). *National Science Foundation: Science and Engineering Indicators*. Washington, DC: National Center for Science and Engineering Statistics. זמין ב- <https://nces.nsf.gov/>.
- OECD (2023). *Education at a Glance 2023*. Paris: OECD Publishing. זמין ב- <https://www.oecd.org/education/>.
- OECD (2025). *Education at a Glance 2025*. Paris: OECD Publishing. זמין ב- <https://www.oecd.org/education/>.
- ABET (2023). *Criteria for Accrediting Engineering Programs*. Baltimore: Accreditation Board for Engineering and Technology. זמין ב- <https://www.abet.org/accreditation>.
- פרלמוטר, ד. (2021). דוח הוועדה הלאומית להגדלת ההון האנושי בהייטק. תל אביב: אינטל ישראל ומשרד ראש הממשלה. זמין ב- <https://www.gov.il/>.
- רשות החדשנות (2020). דוח מצב ההייטק הישראלי 2020. תל אביב: רשות החדשנות. זמין ב- <https://innovationisrael.org.il/>.
- רשות החדשנות (2022). דוח על תשתיות נתונים להייטק. תל אביב: רשות החדשנות. זמין ב- <https://innovationisrael.org.il/>.
- רשות החדשנות (2025). דוח מצב ההייטק הישראלי 2025. תל אביב: רשות החדשנות. זמין ב- <https://innovationisrael.org.il/>.
- WEF (2023). *Future of Jobs Report 2023*. Geneva: World Economic Forum. זמין ב- <https://www.weforum.org/>.
- WEF (2025). *Future of Jobs Report 2025*. Geneva: World Economic Forum. זמין ב- <https://www.weforum.org/>.

המצפן של המהנדס: מה המהפכה התעשייתית יכולה ללמד אותנו על עידן הבינה המלאכותית

קוטי שוהם וירון כהן צמח

ד"ר ירון כהן צמח הוא מרצה וחוקר בתחום היסטוריה ופילוסופיה של העסקים, היזמות והכלכלה, וכן בתחומי אתיקה בעסקים ואחריות תאגידית; מרצה ויועץ לארגונים בתחום ניהול ואחריות תאגידית.

ד"ר קוטי שוהם הוא העורך הראשי של כתב העת אפקה - להנדסה ומדע. הוא חוקר המיישם גישות פילוסופיות בתחומים כמו מדע והנדסה, פסיכולוגיה וחברה, כלכלה וניהול, ומרצה במספר מוסדות אקדמיות בישראל. ד"ר שוהם הוא חבר סגל בכיר באפקה המכללה האקדמית להנדסה בתל-אביב, ומכהן כראש היחידה ללימודי חברה ורוח באפקה.

המאמר בוחן את אתגרי המהפכה התעשייתית הרביעית, המונעת על ידי בינה מלאכותית, ומציע כיצד להכשיר מהנדסים לעידן זה. דרך ניתוח שלוש המהפכות תעשייתיות קודמות - הקיטור, החשמל והמחשוב - המאמר ממחיש כיצד טכנולוגיות משבשות הפכו מיומנויות מסורתיות למיושנות והעלו את ערכן של יכולות חדשות. הוא מציג ארבע מיומנויות-על הכרחיות: למידה מתמדת להתאמה לשינויים מהירים, חשיבה מערכתית ורב-תחומית להבנת הקשרים מורכבים, חשיבה ביקורתית ואתית להערכת השלכות טכנולוגיות ואינטליגנציה חברתית ותקשורתית לשיתוף פעולה והנהגה. המאמר מדגיש כי חינוך הנדסי מסורתי, המתמקד בידע טכני צר, אינו מספיק, וקורא לתוכניות לימוד הוליסטיות המשלבות אתיקה, שיתוף פעולה וראייה מערכתית. מודל זה, המיושם במכללת אפקה בהובלת פרופ' עמי מויאל, מכין מהנדסים להוביל את המהפכה תוך שמירה על אחריות חברתית.

מבוא: דז'ה וו היסטורי

השיח הציבורי והאקדמי רווי במונח "בינה מלאכותית", לעיתים עד כדי סחרור אינטלקטואלי ופרקטי כאחד. הופעתם של מודלי שפה המסוגלים לכתוב שירה, קוד או מאמרים אקדמיים, ועד לאלגוריתמים המזהים מחלות טוב יותר מרופאים, מלמדים שאנו עומדים על סיפו של עידן חדש.

זוהי תקופה של שינוי כה מהיר ועמוק עד שקשה לתפוס את השלכותיו. קלאוס שוואב, מייסד הפורום הכלכלי העולמי, כינה זאת "המהפכה התעשייתית הרביעית" – עידן שבו הקווים בין העולמות הפיזי, הדיגיטלי והביולוגי מיטשטשים, ובו טכנולוגיות כמו בינה מלאכותית, רובוטיקה והאינטרנט של הדברים משנות את כל מה שאנו יודעים על ייצור, עבודה ואפילו על עצם היותנו אנושיים (Schwab, 2016). השיח הציבורי נע בין הבטחות לעתיד אוטופי של פתרונות יצירתיים לבעיות האנושות, לבין חרדות קיומיות מפני אובדן משרות המוני, הגברת האי-שוויון ושחיקת תפיסת האדם.

עבור ישראל, "אומת הסטארט-אפ", שאלות אלה אינן תיאורטיות. הן נוגעות בלב ליבו של המנוע הכלכלי והחברתי שלנו. בלב הסערה הזו ניצבת שאלה בסיסית: איך מכינים את הדור הבא לעולם כזה? ובאופן ספציפי יותר, כיצד מכשירים את המהנדסות והמהנדסים של המחר? מה נכלול בארגז הכלים שלהם כדי שלא רק ישרדו את השינוי, אלא יובילו אותו בתבונה, באחריות וביצירתיות, ויוסיפו לחוסנה של החברה הישראלית?

התשובה, באופן פרדוקסלי, אינה טמונה בניסיון לחזות את העתיד, אלא בהבנת העבר. אנו טוענים שהפתרון לתחושת הסחרור שאנו חווים היא מציאת עוגן בלקחים שאפשר ללמוד ממהפכות דומות שכבר קרו. בחינה של מהפכות טכנולוגיות קודמות מגלה שישנם דפוסים חוזרים ונשנים, שמהם אפשר לזקק עקרונות מנחים שיעזרו לנו להכשיר את תלמידי ההנדסה לעולם של מכונות חושבות, ולברר אילו כישורים אנושיים הם קריטיים לעתיד. נראה כיצד גישות חינוכיות הוליסטיות, כמו זו שפותחה במכללת אפקה תחת הנהגתו של פרופ' עמי מויאל, אינן מותרות, אלא הכרח המבוסס על לקחי ההיסטוריה.

פרק א': סיפורן של שלוש מהפכות (ועוד אחת בדרך)

שיבוש טכנולוגי (Disruption) אינו המצאה של ימינו, אלא הוא מנוע הקידמה האנושית זה מאות שנים. מאז ומתמיד, כל גל של חדשנות ששטף את העולם הרס מודלים כלכליים ישנים, שינה את פני החברה והציב אתגרים עצומים. כדי להבין את הדפוס הזה, נבחן שלוש נקודות מפנה היסטוריות מכריעות.

1. מהפכה ראשונה: כשהקיטור החליף את היד

דמיינו אורג מומחה באנגליה של סוף המאה ה-18. הוא בילה שנים בליטוש אמנותו, וידע לטוות בדים מורכבים שהיו מקור גאוותו ופרנסתו. ערכו נמדד במיומנות ידיו ובהבנתו האינטימית את חומרי הגלם. ואז, כמעט בין לילה, הופיעו מפלצות פלדה רועשות ופולטות קיטור – הנולים המכאניים. המכונות החדשות, שהתרכזו במפעלים העירוניים, הפכו את מיומנות היד הספציפית שלו למיושנת, עד כדי כך שהערך הכלכלי לא נבע עוד מיכולתו של אדם לארוג בד מורכב, אלא מיכולתו לתפעל כמה נולים מכאניים בו-זמנית.

התגובה לשלב הראשון של המהפכה התעשייתית הזו לבשה אופי אלים ומאורגן, שמוכרות בהיסטוריה כתנועה של "מתנגדי קידמה". אולם תנועת ה"לודיטים", אותם פועלים שפרצו למפעלים והרסו את המכונות, לא הייתה התנגדות עיוורת לטכנולוגיה, כפי שמסופר לנו בדמיון ההיסטורי, אלא דווקא ניסיון של בעלי מקצוע, שראו את עולמם המקצועי והחברתי קורס, לשמר משהו מכבודם המסורתי. הם לא נלחמו בטכנולוגיה, אלא באובדן המעמד והביטחון הכלכלי שלהם שהיא גרמה.

מכאן אפשר לגזור לקח: טכנולוגיה יכולה להפוך כישורים שנחשבו חיוניים במשך מאות שנים ללא רלוונטיים. במקומם, נדרשו מיומנויות חדשות: משמעת של עבודה במפעל, אוריינות בסיסית לקריאת הוראות, והיכולת להיהפך לחלק ממערכת ייצור גדולה. המקצוע החדש שנוצר, "פועל המפעל", דרש פחות יצירתיות אישית ויותר ציות וגמישות.

2. מהפכה שנייה: כשהחשמל הוליד את המומחה

המאפיין העיקרי של המהפכה התעשייתית השנייה היה המצאת החשמל והיכולת להעביר אותו למקומות מרוחקים, לצד המשך פיתוח שיטות ייצור יעילות בעזרת מנועי בעירה פנימית ואמצעי תקשורת חדשים. המורכבות של המערכות החדשות – רשתות חשמל ארציות, מערכות תקשורת עולמיות ומפעלים עצומים – דרשה סוג חדש של איש מקצוע. אם המהפכה הראשונה התבססה על פועלים במפעלים, השנייה הולידה את המהנדס והמנהל המקצועי. לשם כך נולדו מוסדות שהפכו את החינוך ההנדסי לפורמלי ומדעי ומבוסס על תפיסה מדעית של תהליכי ואמצעי הייצור. בשלב זה, דמות המהנדס החלה להיתפס כ"פותר בעיות" מומחה, ובהתאם נולדו דיסציפלינות מחקר, לימוד והכשרה חדשות לחלוטין: הנדסת חשמל, הנדסה כימית, הנדסת מכונות.

הלקח השני מהמהפכה השנייה היה עליית חשיבותה של ההתמחות: היכולת להתמקד בתחום אחד בתהליך הייצור נהפכה ליתרון תחרותי בשוק העבודה. תופעה זו היא ביטוי מוקדם למה שכלכלנים מכנים כיום "שינוי טכנולוגי מוטה-מיומנות" (Skill-Biased Technological Change – SBTC), הנטייה של טכנולוגיות חדשות להעלות את הביקוש והתגמול לעובדים בעלי מיומנויות גבוהות וספציפיות. הכלכלנים קלודיה גולדין ולורנס כץ מתארים בספרם "המירוץ בין החינוך לטכנולוגיה" כיצד מערכת החינוך האמריקאית הגיבה ביצירת בתי ספר תיכוניים ומכללות שהכשירו המונים למיומנויות הנדרשות החדשות (Goldin & Katz, 2008). אולם, להתמחות היה מחיר: היא יצרה פיצול של הידע. מהנדס החשמל לא תמיד הבין את עבודתו של מהנדס המכונות, והמנהל לא תמיד הבין את האתגרים הטכניים שעיינו מתמודדים הפועלים או המהנדסים. מכאן עלה הצורך הנגדי של היכולת לשיתוף פעולה בין-תחומי ושל גורמים בעלי ראייה מערכתית רחבה שיאזנו את הנטייה להתמחות ויעילות נקודתית.

3. מהפכה שלישית: כשהמחשב למד לחשב

זוהי המהפכה שאנו מכירים מקרוב, שנהוג לקרוא לה "העידן השני של המכונה" (Brynjolfsson & McAfee, 2014). בניגוד למהפכות קודמות, שבהן מכונות החליפו שרירים, המכונה החדשה – המחשב – החל להחליף משימות קוגניטיביות שגרתיות, עד כדי כך שהאוטומציה לא רק החליפה מקצועות שלמים, אלא בעיקר את המשימות החזרתיות ומבוססות-הכללים שאפשר היה לתרגם לרצף פעולות קוגניטיביות פשוטות (Autor, 2015).

דוגמה קלאסית היא תוכנת הגיליון האלקטרוני "אקסל". היא לא העלימה את הצורך באנשי כספים, אך היא הפכה את המשימה של חישוב ידני למיושנת. פקידים ומנהלי חשבונות שכל מיומנותם הייתה חישוב מדויק איבדו את עבודתם, אך במקומם נוצר תפקיד חדש: האנליסט הפיננסי. תפקיד זה דרש השקעת פחות זמן בחישוב ויותר זמן בניתוח, פרשנות, בניית מודלים והצגת תובנות.

הלקח המכריע ממהפכה זו הוא שהערך האנושי זז "במעלה שרשרת המזון" הקוגניטיבית. כשהמחשב מבצע את החישובים, הערך המוסף של האדם טמון ביכולות שהמחשב התקשה לחקות: פתרון בעיות מורכבות, יצירתיות, חשיבה ביקורתית ותקשורת.

פרק ב': ארבע מיומנויות-על לעידן הבינה המלאכותית

מה אפשר ללמוד מכל אלה? שלוש המהפכות התעשייתיות שסקרנו ממחישות עיקרון אחד בולט: בכל פעם שמכונה מצליחה להפוך מיומנות אנושית מסוימת לאוטומטית, הערך הכלכלי והחברתי מוסט למיומנויות אחרות – עמוקות, רחבות, ובלתי ניתנות להחלפה בקלות. פעם זה היה כושר גופני, אחר כך התמחות טכנית, וכיום זו היכולת להבין הקשרים, לשפוט שיקול דעת, לחשוב יצירתית ולעבוד עם בני אדם. המשימה החינוכית כעת היא לזהות את המיומנויות האלו – ולהכשיר להן את דור המהנדסים הבא.

מנקודת מבט פילוסופית, ניתן למסגר זאת דרך ההבחנה היוונית הקלאסית בין "טכנה" (Techne) ל"אפיסטמה" (Episteme). "טכנה" הוא הידע הפרקטי, ה"איך" לעשות (למשל, היכולת לתפעל נול מכאני או לקודד בשפת פייתון). "אפיסטמה" הוא הידע התיאורטי, ההבנה העקרונית, ה"למה" (למשל, הבנת עקרונות המכניקה או מדעי המחשב). כל מהפכה טכנולוגית הפכה "טכנה" ספציפי למיושן, ובכך העלתה את חשיבות ה"אפיסטמה" – הידע העקרוני שמאפשר לפתח "טכנה" חדש ורלוונטי.

אך כאן עולה טיעון נגד משמעותי: אולי הפעם זה באמת שונה? בניגוד למנוע הקיטור או למחשב, הבינה המלאכותית אינה מחליפה רק משימות שגרתיות, אלא מתחילה לחדור לתחומים שנחשבו נחלתה הבלעדית של היצירתיות האנושית – כתיבה, עיצוב, ואף פתרון בעיות מורכבות.

דווקא משום כך, אנו טוענים, מיומנויות-העל אינן מתבטלות, אלא חשיבותן מתעצמת ונהפכת לקריטית מאי פעם. יישום הלקח הזה על עידן ה-AI מאפשר לנו לזהות את ארבעת עמודי התווך של החינוך ההנדסי העתידי, ולהבין כיצד ללמד אותם הלכה למעשה.

אך לפני שנפנה לתיאור ארבע המיומנויות, חשוב להתעכב על נקודת עיוורון מטרידה: רבות מהפקולטות להנדסה עדיין מדגישות ידע טכני צר ומודדות הצלחה בעיקר לפי ציונים. סטודנטים מבריקים מסיימים תארים מבלי ששיתפו פעולה בצוותים בין-תחומיים, נדרשו לחשוב אתית או למדו כיצד לתקשר רעיון מורכב לקהל שאינו טכני. דווקא הפער הזה בין תכני ההכשרה לבין דרישות המציאות המשתנה מדגיש את חשיבותו של דיון חדש: אילו מיומנויות יהיו קריטיות לעידן הבינה המלאכותית? על מה יש לשים את הדגש בתוכניות הלימודים, אם ברצוננו להכשיר מהנדסות ומהנדסים שמסוגלים לא רק להשתלב במערכות – אלא גם להבין, לבקר ולעצב אותן?

1. יכולת למידה מתמדת (Learnability):

הלקח העקבי ביותר הוא שהידע הטכני של היום הוא המורשת הארכאולוגית של המחר. "מחצית החיים" של מיומנות טכנית מתקצרת בקצב מסחרר. ההיסטוריון יובל נח הררי טוען כי כדי לשרוד במאה ה-21, נזדקק ליציבות רגשית וליכולת "להמציא את עצמנו מחדש" שוב ושוב, לעיתים כל עשור (Harari, 2018). לכן, המטרה החינוכית העליונה אינה הקניית סט כלים ספציפי (שפת תכנות X או תוכנת תכנון Y), אלא פיתוח "שריר" הלמידה.

מה זה אומר בפועל? מדובר ביכולת לזהות פער ידע, למצוא מקורות מידע אמינים, לסננז אותם ולהחיל אותם על בעיה חדשה – במהירות וביעילות. דוגמה: מהנדסת תוכנה שפיתחה אפליקציות מובייל במשך עשור, מבינה שתחום המחשוב המרחבי (Spatial Computing) הוא העתיד. במקום לחכות לקורס רשמי, היא יוזמת פרויקט אישי, לומדת באופן עצמאי את פלטפורמת הפיתוח החדשה של אפל, מתחברת לקהילות מפתחים ברשת, ובתוך חודשים בונה אב-טיפוס ראשון. היא לא למדה רק כלי חדש, אלא הוכיחה יכולת הסתגלות.

איך מלמדים את זה? באמצעות מעבר מלמידה פסיבית ללמידה אקטיבית: פרויקטים מבוססי-אתגר שאין להם פתרון יחיד, האקטונים ועידוד סטודנטים ללמד זה את זה. המרצה נהפך ממקור הידע למנטור המנחה את תהליך הגילוי.

2. חשיבה מערכתית ורב-תחומית:

מהנדס ה-AI אינו יכול להסתגר בקובצי הקוד של האלגוריתם, שכן הטכנולוגיה דורשת כיום השכלה רחבה יותר מאי פעם כדי לנהל את מורכבותה (Goldin & Katz, 2008). זה מחייב לשבור את מגמת ההתמחות בידע שהורשה לנו המהפכה השנייה. בפועל, המשמעות היא לחשוב כמו אדריכל של מערכות – לא רק כפועל שלהן, להבין כיצד רכיבים שונים (טכנולוגיים, עסקיים, אנושיים) משפיעים זה על זה, ולא להסתפק בחוזקו של הבורג שבמכונה, ולצפות השלכות בלתי צפויות.

דוגמה: צוות מהנדסים מפתח מכשיר רפואי המנטר מדדי בריאות באמצעות AI. מהנדס בעל חשיבה מערכתית לא יתמקד רק במידת הדיוק של החיפוש. הוא ישאל: מהן דרישות הרגולציה של משרד הבריאות? כיצד נבטיח את פרטיות המידע הרפואי? מהי הפסיכולוגיה של המשתמש המבוגר שישתמש במכשיר? מהו המודל העסקי שיאפשר למערכת הבריאות לאמץ אותו? הוא מבין שהצלחת המוצר תלויה במערכת האקולוגית כולה, לא רק בקוד.

איך מלמדים את זה? באמצעות צוותי פרויקטים הטרוגניים (סטודנטים להנדסה, עיצוב, מנהל עסקים ומשפטים), קורסים המשלבים מדעי הרוח והחברה, וניתוח מקרי בוחן (Case Studies) המדגישים את ההקשרים הרחבים של פרויקטים הנדסיים.

3. חשיבה ביקורתית ואתית:

אם מהפכת המחשוב הפכה את יכולת החישוב לסחורה, מהפכת ה-AI הופכת את יכולת ייצור התוכן והמידע לסחורה. בעולם מוצף בתשובות שנוצרו על ידי מכונות, היכולת האנושית החשובה ביותר היא יכולת השיפוט. מה זה אומר בפועל? המשמעות היא ברורה – למהנדסת בעולם של AI יש יתרון אנושי משמעותי: היכולת לא לקבל מידע כפשוטו, אלא להעריך את אמינותו, לזהות הטיות סמויות, להבין את מגבלות המודל, ולשאל שאלות אתיות נוקבות על מטרות הטכנולוגיה והשפעותיה.

דוגמה: מהנדס בנק מקבל לידיו מודל AI שפותח על ידי חברה חיצונית כדי להמליץ על מתן הלוואות. במקום רק לבדוק אם המודל עובד טכנית, הוא מפעיל חשיבה ביקורתית: על אילו נתונים היסטוריים המודל אומן? האם הנתונים הללו משקפים הטיות חברתיות קיימות (למשל, נגד שכונות מסוימות או קבוצות אוכלוסייה)? מה יקרה אם המודל יטעה? של מי האחריות במקרה של טעות או הטיה? כשהבינה המלאכותית יכולה לספק כל תשובה, המיומנות היקרה ביותר היא לדעת איזו שאלה לשאול.

איך מלמדים את זה? דרך סדנאות דיבייט על דילמות אתיות בטכנולוגיה, קורסי חובה בפילוסופיה ואתיקה בכלל ואתיקה של ה-AI בפרט, ודרישה שבכל פרויקט גמר יוצג פרק העוסק בהשלכות האתיות והחברתיות של הפיתוח.

4. אינטליגנציה חברתית ותקשורתית:

באופן פרדוקסלי, ככל שהמכונות משתכללות, כך עולה ערכה של האינטראקציה האנושית. היכולת להוביל צוות, לשתף פעולה, להעביר רעיון מורכב באופן פשוט ומשכנע, לגלות אמפתיה ללקוח ולנהל קונפליקטים נהפכת למבחן התחרות המרכזי. מה זה אומר בפועל? זו היכולת להניע אנשים, לשכנע, לבנות אמון, להקשיב באופן פעיל ולתווך בין נקודות מבט שונות. אלו הן מיומנויות שקשה מאוד לבצע להן אוטומציה.

דוגמה: מהנדסת מובילה צוות פיתוח המפוזר בין תל אביב, קייב וסן פרנסיסקו. האתגר שלה אינו רק טכני. הוא כולל ניהול הבדלי תרבות ותקשורת, בניית לכידות צוותית דרך שיחות וידאו, מתן משוב בונה שיתקבל היטב והצגת התקדמות הפרויקט להנהלה הבכירה באופן שיגייס את תמיכתם. הצלחתה תלויה ביכולותיה הבין-אישיות לא פחות מיכולות הקידוד שלה.

איך מלמדים את זה? באמצעות למידה מבוססת צוותים, סדנאות להצגה אפקטיבית, קבלת כלים לניהול מחלוקות ועמידה מול קהל, תרגול משא ומתן, ומתן משוב עמיתים מובנה כחלק מהערכת הקורסים.

סיכום: לבנות את המצפן הפנימי

המסע שערכנו, ממפעלי הטקסטיל של מנצ'סטר ועד לענן המחשוב של ימינו, מלמד שיעור חשוב ומרגיע כאחד: הטכנולוגיה משתנה, אך האתגר האנושי נותר דומה. בכל צומת של שיבוש טכנולוגי, הדרך לשגשוג אינה התבצרות בידע הקיים, אלא אימוץ הגמישות, הלמידה והראייה הרחבה.

הכשרת מהנדסים למאה ה-21 אינה יכולה להסתפק עוד בהקניית ידע טכני שפג תוקפו במהירות. התשובה לאתגר הבינה המלאכותית אינה "יותר קידוד", אלא חינוך שמחבר בין הקוד למוסר, בין האלגוריתם לאחריות, ושמתפח את אותן יכולות שההיסטוריה הוכיחה כבנות-קיימא.

הקריאה שלנו מופנית לקובעי המדיניות, למנהיגי האקדמיה ולמובילי התעשייה: עלינו לעצב מחדש את תוכניות הלימודים כדי לשקף את ארבע מיומנויות-העל הללו. עלינו לשאוף לעצב "דמות בוגר מתפתח" – מהנדסת שאינה רק מומחית טכנית, אלא הוגת דעות ביקורתית, בעלת הבנה מערכתית, המסוגלת ללמוד כל חייה, ובעלת מצפן אתי המאפשר לה להשתמש בכוחה הטכנולוגי בתבונה.

המודל לחינוך מהנדסים שהוביל פרופ' עמי מויאל בעשור האחרון באפקה הוא התגלמות חיה וחלוצית של לקחים היסטוריים אלו. החזון שלו, שהתעקש על שילוב בין מצוינות הנדסית, מיומנויות הוליסטיות והשכלה רחבה, לא היה תוספת פדגוגית, אלא הבנה עמוקה של צורכי העתיד. זוהי ההכרה שכדי לבנות את העתיד, עלינו להישען על חוכמת העבר. בכך, אנו לא רק מכינים את בוגרינו לשוק העבודה המשתנה, אלא מכשירים דור של מנהיגים טכנולוגיים שיוכלו לעצב את המהפכה התעשייתית הרביעית – ולא להיות מעוצבים על ידה.

מקורות

Autor, D. H. (2015). "Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation". *Journal of Economic Perspectives*, 29(3), 3-30.

Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. W. W. Norton & Company.

Goldin, C., & Katz, L. F. (2008). *The Race Between Education and Technology*. Harvard University Press.

Harari, Y. N. (2018). *21 Lessons for the 21st Century*. Spiegel & Grau.

Schwab, K. (2016) *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum.

"שיר העבודה והמלאכה"

מאת חיים נחמן ביאליק

בְּזֵעַת אֶפֶיךָ תֹאכַל לֶחֶם -
זֹאת בְּרָכָה, לֹא קֶלֶלָה!
עֲבֹדָה - הִיא שִׁירָה,
מְלָאכָה - הִיא תְּפִלָּה.
מִי שֶׁעֹבֵד בְּמִסְרֹת,
הוּא מְנַהֵיג וּמְדִרִי,
בְּיָדָיו בּוֹנֶה עוֹלָם,
וּבְחֻמָּתוֹ מְלַמֵּד.

הסבר ורקע

"שיר העבודה והמלאכה" מאת חיים נחמן ביאליק, שנכתב בשנת 1930 ונמצא בנחלת הכלל לאחר מותו ב-1934, הוא שיר קצר ומרגש המבטא את הערך הרוחני והמעשי של עבודה ויצירה. ביאליק, המשורר הלאומי של ישראל, כתב את השיר בהשראת האתוס הציוני של בניין הארץ והחברה.

הוא מציב את העבודה ככרכה ולא כקללה, משווה אותה לשירה ולתפילה ומדגיש שהתמסרות, הנהגה וחכמה בעבודה הם מפתח לחינוך ולהובלה חברתית. בשפה פשוטה וישירה, ביאליק שוזר ערכים יהודיים מסורתיים, כמו "בזיעת אפיק תאכל לחם", עם חזון מודרני של יצירה קולקטיבית. השיר משמש עד היום מקור השראה להעברת מסר של כבוד לעבודה וליצירה.

המסר המרכזי של יצירתו ושל שיר העבודה והמלאכה בפרט – הכרה בערך הפשוט, היומיומי והשורשי של עמל, שותפות ואחריות ליצירת חברה חופשית, מוסרית ורוחנית – נותר יסוד בלכידות ובהשראה של החברה הישראלית עד ימינו.

חיים נחמן ביאליק (1873-1934) נולד בכפר ראדי שבאוקראינה למשפחה דלת אמצעים. הוא התייתם מאביו בגיל צעיר וגדל בבית סבו, שהקנה לו חינוך יהודי מסורתי והשכלה רחבה. בבחרותו למד בישיבת וולוז'ין, התחבר לרוח ההשכלה, נמשך לספרות חדשה והצטרף לפעילות ציונית.

בשנותיו הראשונות יצר באודסה שירים, סיפורים ומאמרים, ותפס מקום מרכזי בתרבות היהודית והעברית בגולה. בשנת 1924 עלה ביאליק ארצה, השתקע בתל אביב ונהפך לסמל לאומי: יצירתו הייתה למופת, הוא יזם את "עונג שבת", ערך את "ספר האגדה" עם י"ח רבניצקי, פעל בייסוד מוסדות תרבות, תמך באמנים וחדש מאות מילים בלשון העברית. ביתו ברחוב ביאליק נעשה למוקד החיים הרוחניים בעיר ולמקור השראה לחוגי סופרים, אמנים והציבור הרחב. דמותו שילבה עומק יהודי, מוטיבציה הלכתית וחתיירה לערכים חברתיים חילוניים.

ביאליק נודע מעבר לשירתו גם כמחדש פואטי של השפה, כמנהיג ודמות מופת ליצירה, וכמוביל של בניית תרבות עברית-ציונית בארץ ישראל. הוא הקיף את עולמם של ילדים ומבוגרים בשירים, סיפורים, שירי זמר ומסות, סלל דרך לתפיסה מודרנית של לאומיות, שפה, חינוך ותרבות במובנה העמוק ביותר.

AJES Journal הוא כתב עת המבקש להיות במה לקשרים הבינתחומיים שההנדסה מקיימת עם עולמות התוכן השונים של תקופתנו. בכתב העת תוכלו למצוא מאמרים העוסקים במגוון רחב של נושאים שההנדסה היא הקו המקשר ביניהם. אנו מביאים בפני הקוראים, בין השאר, מחשבות על התרבות הדיגיטלית, דיונים בנושא דמות המהנדס בפתחה של המאה ה-21, ניתוח תיאוריות של צדק כלכלי וחברתי, דילמות מתחום האתיקה למהנדסים, בחינה של משבר האקלים מפרספקטיבה הנדסית, ניתוח של אירועים ועוד

מערכת כתב העת רואה במושג "מדע" כזה שאינו שמור לתחומי מחקר המאופיינים בפורמליזם מתמטי, ואינו כותרות המסמנת רק מתודולוגיות המקפידות שיטות על כמותיות בעשייה המדעית. אנו רואים במושג המדע כל ניסיון להרחיב את הדעת האנושית, ובתוך כך אנו מכירים בחשיבותן של שיטות מחקר איכותניות ובמעמדן המדעי השווה לשיטות מחקר כמותיות. זאת, כמובן, תוך התאמה של שיטת המחקר לנושא הנחקר, ולמאפיינים שעליהם אנו מבקשים לשפוך אור.

AJES
Journal

כתב עת רב תחומי להנדסה ומדע

מכללת אפקה | מבצע קדש 38, תל אביב

כל הזכויות שמורות לאפקה, המכללה האקדמית להנדסה בתל-אביב | ajes@afeka.ac.il