



**רבותחומיות ובין־תחומיות
באקדמיה ובתעשייה**





**מצד אחד,
יש לך כבר מקום בתעשייה**

מצד שני, לא הגיע הזמן להתקדם?

**אורט בראודה מזמינה אותך להתקדם
בתעשייה, עם תואר שני במגוון תכניות:**

• ביוטכנולוגיה • הנדסת תכנה • הנדסת מערכות • הנדסת תעשייה וניהול*

*התכנית נפתחה בהיתר המל"ג. הענקת התואר מותנית באישור המל"ג.



שני אילוני

קוראים יקרים,

"גלובס לתעשייה" הרביעי עוסק, כקודמיו, בנושאים משותפים לתעשייה ולאקדמיה. לקראת הפקת הגיליון פורסם "קול קורא" למאמרים בנושא "רב־תחומיות ובין־תחומיות באקדמיה ובתעשייה". ההצעות שהגיעו למערכת מעידות על הקושי להבין על מה מדובר, ולכן זו ההזדמנות להציף לתוך עולם מרתק, שבו עוסקים מדענים, חוקרים, מפתחים ומהנדסי המחר.

המושג "רב־תחומיות" מתקשר בתודעה ל"השכלה כללית", בעיקר בשל ההקשר לתכניות האקדמיות הרב־תחומיות במדעי הרוח והחברה. אם רווחת דעה, שמדובר ב"מפלט אקדמי" למי שלא הצליחו להתקבל לתכניות כגון כלכלה, פסיכולוגיה, סוציולוגיה, אמנות וכדומה, הרי מאמרי המגזין עשויים לשנות את תפיסת החשיבות של הנחלת הלמידה הרב־תחומית.

ככל שגדלים האתגרים המדעיים (חקר החלל, הגנום, חקר המוח ועוד), ונעשים שאפתניים יותר, כך מתגבר הצורך באיגום משאבי ידע מתחומי־דעת שונים. במרוצת השנים נוצרו דפוסים מגוונים לאיגום הידע.

ידע בין־תחומי הוא תוצר אינטגרציה של ידע וניסיון מקצועי, הנובע ממספר דיסציפלינות, כאשר מומחים מתחומי־דעת שונים עובדים על נושא משותף ויוצרים מידה מסוימת של סינתזה. אוראז כל אחד מהמומחים הופך למומחה בתחום החדש, אם כי מזווית מסוימת.

רב־תחומיות מלכדת תחומים מבלי ליצור מיזוג ביניהם, כלומר משלבת כוחות בין מומחים מתחומים שונים, אך אינה יוצרת סינתזה של הדיסציפלינות שלהם. התעשייה המתקדמת נשענת שנים רבות על ידע רב־תחומי, שכן כל מערכת מודרנית היא

תוצר של שילוב בין תחומים, כגון אלקטרוניקה, מכונות, אופטיקה, תכנה ועוד. ברבות הימים גם התעשייה, בעיקר זו המתמודדת עם מערכות גדולות ומורכבות, הבינה כי לא די בחיבור אוסף רכיבים מתחומים שונים לכדי יצירת מוצר, אלא נדרשת ראייה מערכתית, תיכון, אופטימיזציה, ניהול ויכולת לראות "מעבר לטכנולוגיה". התגייסות האקדמיה לגיבוש מתודולגיות לפתרון בעיות מורכבות יצרה מקצוע חדש – הנדסת מערכות.

התעשייה עושה את צעדיה הראשונים בדרך לקפיצת מדרגה נוספת, המחייבת לא רק רב־תחומיות הלקוחה מעולם ההנדסה, אלא פריצת הגבולות לתחומים שונים לחלוטין, כגון מדעי החיים ומדעי החברה.

לפיכך נדרשת חשיבה על תפקידה של האקדמיה, בגיבוש הוראה רב־תחומית, להכשרת מהנדסי העתיד והלומדים לתארים מתקדמים בהנדסה ובמדעים.

נושא המגזין, כנושא כנס "תעשייה־אקדמיה" שהתקיים אך לפני שבוע בקמפוס המכללה, מזוהה עם ליבת החזון של המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה, להכשיר מהנדסים בעלי השכלה כללית ומקצועית מעמיקה ורחבה ויכולת התאמה של הידע לצרכים משתנים.

על כל אלה הנכם מוזמנים לקרוא בעמודים שלפניכם. קריאה מהנה ומחכימה.

שני אילוני, מנהלת שיווק, יו"ר כנס תעשייה־אקדמיה, המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה
ishani@braude.ac.il



5 כנס תעשייה-אקדמיה

כל מה שקרה בכנס הארצי הרביעי לתעשייה-אקדמיה לזכרו של פרופ' יוחנן ארזי, בנושא "רב-תחומיות ובין-תחומיות כמנוף לפיתוח בתעשייה ובאקדמיה"

9 פורצים מחסומים
עולם הרפואה והמחשבים נפגשים במחקר בין-תחומי במכללת אורט בראודה, לבחינת חדירות תרופות את מחסום דם-מוח



8 דרישות המקצוע
הנדסת מערכות מקשרת בין תחומי ההנדסה הקלאסיים למערכות ניהוליות * מומחים מדברים על ראייה מערכתית רב-תחומית כדרישה מקצועית



12 חשיבה מערכתית
החינוך ההנדסי עומד בעשרים השנים האחרונות תחת מתקפה בין-יבשתית * החשיבה המערכתית מספקת תשובות

10 איידס זה לא משחק?
600 אלף גיימרים השתתפו במשחק המזכיר טוריס, וסייעו במציאת מידע על הנגיף, שחוקרים כמעט נואשו לחפש



14 התשובות למדען
ריאיון מיוחד עם אהוד גזית, המדען הראשי של משרד המדע והטכנולוגיה, על חדשנות, חינוך ושיתופי פעולה בין תעשייה לאקדמיה



13 תמונת מצב
המצלמות התרמיות של חברת אופגל מדגימות את הפוטנציאל של שילוב יצירתיות ישראלית ורב-תחומיות



17 ישראליות בסין
על המפתחות להצלחה מסחרית בסין של מוצרי חברות טכנולוגיה ישראליות * כמה מהם יפתיעו אתכם

16 לא רק טיטולים
המנהל הרפואי של אלי לילי ישראל על השינויים והתהפוכות שעוברת תעשיית התרופות בשנים האחרונות



20 הנדסת מערכות
האקדמיה ותפקידה לבנות מדע ומחקר המשלבים תחומי התמחות ותרבות תעשייתית שונה, וליצור ביניהם שפה משותפת



18 "הצוק הפיזיקלי"
מה קורה כאשר פרופ' ישראלי לפיזיקה משתמש בכלים לוגיים כדי לנתח את שוק המניות



22 מסגרת אירופית
ריאיון מיוחד עם מנכ"ל המינהלת האחראית על הקשר בין ישראל לתכנית המסגרת של האיחוד האירופי

21 להיות מעצמה טכנולוגית
כיצד חלוציות, מאבק קיומי וכור היתוך נמנים עם הגורמים המרכזיים לעליונות הטכנולוגית הישראלית



26 רושמים פטנט
חידושים טכנולוגיים משנים את שרשרת ייצור הערך של הפיתוח ומחייבים היערכות חדשה הכוללת ראייה רב-תחומית



24 מחשב קורא מחשבות
ממשק מוח-מכונה משמש לרוב לצרכים רפואיים, אבל מסתבר שאפליקציה היא כל מה שצריך על מנת לגלות את הסודות הכמוסים ביותר שלכם

מערכת: שני אילוני, מנהלת שיווק, המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה | פרסום: פובליסיס

גלובס: עורך: שי שבתאי | עריכה: רוני חזקיה | עיצוב גרפי: מרינה מנוקיאן | מנהל ייצור: עמי אוחנה | מנהל הפקה: סולי מור | עיבוד מחשב: יפה שילה | הדפסה: כספים מבית גלובס בע"מ
משנה למנכ"ל סחר: מוטי בר-זיו | מנהלת מסחרית: אורית פטורי | צילום: ער: Imagebank/thinkstock

הכנס הארצי הרביעי לתעשייה-אקדמיה

בשבוע שעבר התקיים במכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה כרמיאל הכנס הארצי הרביעי לתעשייה-אקדמיה לזכרו של פרופ' יוחנן ארזי, בנושא "רב-תחומיות ובינתחומיות כמנוף לפיתוח בתעשייה ובאקדמיה", בהשתתפות בכירי התעשייה והאקדמיה בישראל / ליעד גרינבוים-שגיב

כ-250 אורחים ודוברים השתתפו בכנס "תעשייה-אקדמיה" השנתי הרביעי, אשר התקיים ביום רביעי שעבר במכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה בכרמיאל, ועסק ברב-תחומיות ובינתחומיות באקדמיה ובתעשייה. המשתתפים, בכירים ממגוון רחב של מוסדות אקדמיים, חברות וארגונים העוסקים במחקר, פיתוח, ייעוץ, ייצור, ניהול, כלכלה, הנדסה וטכנולוגיה, נהנו מ-22 הרצאות, שנפרסו על פני שישה מושבים, הכוללים מושבי מליאה מרתקים, מפי דוברים מובילים מדיסציפלינות שונות, עיתרי ידע, גיסיון ומוניטין, מושבים מקבילים ופאנל דיון. המשתתפים דנו בתרומתן של הרב-תחומיות והבינתחומיות לפיתוח המחקר האקדמי והיישומי, על רתימתן על-מנת להתגבר על אתגרי העתיד ועל תפקיד התעשייה והאקדמיה בקידום גישות אלה. כקודמיו, כנס זה שם במרכז את הקשר שבין האקדמיה לתעשייה, כשילוב חיוני להתמודדות עם האתגרים העתידיים בעידן של קדמה וחדשנות. השנה מטרת הכנס הייתה לבחון, בין היתר, כיצד שיתוף פעולה ביניהן עשוי להוליד תחומי-ידע ומקצועות הדרושים לתעשייה ולסייע בפיתוח תכניות לימודים מתקדמות בגישה רב-תחומית, וכמו תמיד לשמש מקום מפגש שנועד להפריה הדדית.

דברי פתיחה

בדברי הפתיחה אמר פרופ' אריה מהרשק, נשיא המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה: "מאז ומעולם הטבע לא הבדיל בין תחומים. בני האדם הם אלו שעשו את החלוקה לתחומים כגון כימיה ופיזיקה. כיום קיים מתח בין הצורך ברב-תחומיות לירידה לפרטים. התעשייה זקוקה לכך שנכשיר בוגרים מהנדסים רב-תחומיים, בעלי יכולת חשיבה, השכלה רחבה ועבודת צוות". ראש עיריית כרמיאל, עדי אלדר, אמר: "אם מדינה חפצה חיים, היא חייבת לבנות תשתית רצינית של תעשייה, והתעשייה בנויה על כתפי המהנדס. ההבדל בין ישראל לבורמה, מדינה שנולדה במקביל אלינו, הוא שישארל השקיעה בחינוך, בחדשנות ובתעשייה והדרך חייבת להימשך. הכנס הוא לזכרו של פרופ' יוחנן ארזי ז"ל, שמעל הכל ביטא וקידם את נושא החדשנות והרב-תחומיות במכללת אורט בראודה בפרט ובאקדמיה בכלל". "בעשורים האחרונים, עם גידול הידע המרעי וההתפתחויות הטכנולוגיות, מתחזק הצורך באימוץ גישות אלו הן בתעשייה והן



(צילומים: דיוויד פרמון)

מימין: חיים רוט, פרופ' אריה מהרשק, שני אילני ורבי קוריאט

את חשיבות הבינתחומיות הנדרשת - הקשר בין מידע תפיסתי, המגיע דרך החושים, למידע הנדרש לפונקציות ביצועיות כגון קבלת החלטות, תכנון ותנועה. קשר זה הוא מרכזי בהבנה ותכנון של מערכות רובוטיות חכמות ומערכות ביולוגיות".

מחקר ופיתוח רב-תחומי ובינתחומי

במושב אשר עסק במחקר ופיתוח רב-תחומי ובינתחומי, הציג אריק יבנאי, מנכ"ל AI-MA Applied, את "הנרסת הנחילים". "בשנים האחרונות אנו עדים למאמצי מחקר ופיתוח של מערכים מרובי כלים לא מאוישים ורובוטים הפועלים בקבוצות שיתופיות עם רמת אוטונומיות הולכת וגדלה, הנקראים 'נחילים הנרסטים'. הדבר מתבטא ביישומים של חיפוש והצלה, ניטור מבנים, תחזוקת צנרת, ניטור זיהום במקורות מים, לוחמה באש ועוד. מטרת המערכים היא להשיג יעדי משימה באופן יעיל, תוך התמודדות עם מצבי אי-ודאות דינמיים ואירועים לא צפויים. המגמה היא להפעיל מערכים אלו כאשר לא ניתן לבצע המשימה על ידי מערכת בודדת - בשל סיבוך, מחיר או אי-עמידה באילוצים". יבנאי הסביר, כי לטיפול בהנרסת נחילים יש השלכות על המבנה הארגוני, הנדרש להביא לידי ביטוי את אופי הפעילות הבינתחומית והרב-תחומית, ליצור ולטפח ידע באופן ספירלי ומרובד. "לעתים זה סותר את הנטייה של ארגוני פיתוח והנדסה לפעול במבנה מטריצי, שבו הדגש הוא על טיפוח מוקדים בדיסציפלינות ממוקדות - מה שעלול לפגוע בצורך לייצר ידע ויכולות פיתוח בינתחומיות ורב-תחומיות". פרופ' אייל שמעוני, CTO בקבוצת שטראוס, הציג את מודל "אלפא שטראוס", המשלב כוחות לפתרונות יצירתיים עבור

באקדמיה, להעמקת ההבנה של בעיות מורכבות ומציאת פתרונן", הסבירה גברת שני אילני, יו"ר הכנס. "גישות אלו מעוררות השראה ויצירתיות, מאפשרות תקשורת בינתחומית ומובילות לידע חדש באקדמיה ובתעשייה. לפי המגמה המסתמנת, נדרשת חשיבה על מקומה של הוראה בגישה רב-תחומית בהוראת המדעים ובהכשרת המהנדסים והלומדים לתארים מתקדמים בהנדסה ובמדעים, תוך התחשבות בציפיותיה של התעשייה מהמהנדסים העתידיים. הכנס מנסה להתמודד עם אתגרים אלו, התואמים את תפיסת עולמה של המכללה, החותרת להכשרת מהנדסים רחבי אופקים, בעל השכלה כללית ומקצועית מעמיקה עם ראייה מערכתית וחשיבה ביקורתית, יצירתית וחדשנית".

האקדמיה כמקור חדשנות לעולם העסקי

את המושב הראשון של הכנס פתח פרופ' אהוד גזית, המדען הראשי במשרד המדע והטכנולוגיה, שהציג רעיונות לכלים מעשיים להתגברות על תופעת "עמק המוות", המהווה מחסום למעבר טכנולוגיה מהעולם האקדמי לעולם התעשייה. "העברת טכנולוגיה לעולם העסקי ולתעשייה היא פעילות מרכזית של האקדמיה, כחלק מהותי מפעילות רחבה יותר של העברת ידע והנחלתו. האתגר העומד בפני ממשלת ישראל הוא, בין היתר, בניית מנגנונים להבשלה טכנולוגית ומסחורה לקראת יצירת מוצרים ושירותים לתועלת החברה", הסביר. פרופ' נפתלי תשבי, יו"ר המרכז הבינתחומי לחישוביות עצבית באוניברסיטה העברית, הסביר אודות תיאוריה חדשנית, המשלבת בקרה ותורת אינפורמציה לתיאור ותכנון מערכות רובוטיות נבונות בעלות חישה והתנהגות. "חקר המוח המודרני מבטא בצורה ברורה



מימין: עדי אלדך, ראש עיריית כרמיאל, פרופ' אריה מהרשק, נשיא מכללת אורט בראודה, ופרופ' אהוד גזית, המדען הראשי במשרד המדע והטכנולוגיה

ההתקדמות. צריך להתעורר מהר ולבנות בסיס אקדמי שיענה לאתגרים החדשים."

פרופ' מהרשק אמר: "המהנדס החדש חייב להבין שהוא חלק מקבוצת ידע רחבה יותר, ועל כן יהיה רגיש יותר להבין את תחומי המערכות הצמודות לו. היכולת של מהנדס לדבר בשפה ברורה עם כל עולמות התוכן המוקפים סביבו, הופכת אותו לרב-תחומי ומתאים לתעשייה של היום. במכללת אורט בראודה שמנו במוקד האסטרטגיה שלנו את עיצוב המהנדס הרב-תחומי."

קוריאט הוסיף: "ניתן לרכוש ידע ומוצרים, אך לא ניתן לרכוש שילוב רב-תחומי. ניתן לראות כיצד מדינות שונות מתפתחות בקצב שונה בפרק התעשייתי, על פי היכולת שלהן לעבודה יעילה, יצירתית ופנייה לשוק הרחב. לעתים קרובות אנחנו עדים לחברות קטנות הפורצות שווקים בשל היכולת לשלב ידע מתחומים שונים, ואילו חברות גדולות מהן נתקעות מאחור. שיתופי פעולה רב-תחומיים הם אלו אשר יצעידו את העולם קדימה."

בן משה סיפר: "אני מלמד סטודנטים שרוצים לדעת הכל בן-דג. הריצה לספרינטים קצרים לא בהכרח תביא אותם רחוק, וחשוב גם לרוץ מרתונים כאשר מדובר בצבירת ידע וניסיון, על מנת להשיג את היכולת הרב-תחומית. לעתים מנהלים מציינים שהתמחות שלהם היא בניהול. לטענתי, לכל מנהל צריך להיות עוגן מקצועי, ואת המולטי-דיסציפלינריות מלבישים על אותו העוגן."

הציפיות מהאקדמיה

ד"ר קפטן העלתה את השאלה כיצד ניתן לצפות מהאקדמיה להפוך למולטי-דיסציפלינרית, כאשר המאפיין של מחקר הוא מיקוד וירידה לפרטים הקטנים ביותר. רוסו ענה, כי חייב להיות חיבור בין התעשייה לאקדמיה ולמחקר. "עד השנים האחרונות התעשייה הישראלית הגיעה להישגים מרשימים, אך עתה הרבר מחייב אותה להישען על מחקרים יישומיים ולסגור את הפער בין העולם האקדמי לתעשייתי."

פרופ' מהרשק ציין, כי אין צורך ולא נכון להתייחס למחקר אקדמי כתיאורטי בלבד, אלא כיישומי, והאקדמיה יודעת וצריכה ליוזם מחקרים שמטרתם מענה אמיתי לצורך בתעשייה.

הממחישה גישה רב-תחומית לפתרונות המשלבים ננוטכנולוגיה, אופטיקה, תקשורת, הנדסת מכונות מעבר חום והנדסת חומרים. פרופ' רשף טנא ממכון ויצמן, ראש מרכז קימל למדעי הננוטכנולוגיה, תיאר את שלבי ההתפתחות של הננוטכנולוגיה המודרנית, והציג יישומים ערכניים ועתידיניים של ננומדעים וננוטכנולוגיה בתעשיית החלל - חומרים מרוכבים מבוססי ננו-חלקיקים, בתעשיית הרכב - צבעים, ובתחום הרפואי - דיאגנוסטיקה המבוססת על נקודות קוואנטיות, העברת אינפורמציה מהירה ואנרגיה חליפית. "בשנים האחרונות חלה התקדמות גדולה בפיתוח ננוחומרים מרוכבים עם פולימרים, מתכות וקרמיקות ייחודיים", הסביר פרופ' טנא, "לחומרים אלו יישומים רבים בחומרים סופגי אנרגיה וציפויים אופטיים חדשניים".

ד"ר טוביה רונן, סמנכ"ל למו"פ מחטיבת הטילים ברפאל, המחיש רב-תחומיות באמצעות יצירת מערכת "כיפת ברזל" והצלחתה במבצע "עמוד ענן" - שילוב של דיסציפלינות שונות, המייצרות את מערכות השיגור ומערכות החישה ובקרה, בנוסף לבניית ערכים וחזון משותף, קליטת עובדים והכשרתם.

פאנל סיום

בפאנל אשר חתם את הכנס, דנו הנוכחים בשילוב גישות רב-תחומיות ובין-תחומיות בקשר בין אקדמיה לתעשייה. לקחו בו חלק פרופ' אריה מהרשק, נשיא מכללת אורט בראודה; חיים רוסו, סמנכ"ל למצוינות הנדסית וטכנולוגית באלביט; קובי בן משה, מנכ"ל חברת הייעוץ AVIV AMCG; ורפי קוריאט, יום ומנכ"ל קורל ביזנס.

שאלתה הראשונה של המנחה, ד"ר אילנה קפטן, למשתתפים, נגעה לחשיבה רב-תחומית בקרב מהנדסים בתעשייה ובאקדמיה, וכיצד זו באה לידי ביטוי.

רוסו השיב: "בתעשייה אנו עוסקים במערכות רב-תחומיות כבר 30 שנה. למעשה, התעשייה המציאה את מקצוע הנדסת המערכות, כחלק מרב-תחומיות. אני מאמין שאנו הולכים לעלות מדרגה בנושא הרב-תחומיות בשנים הקרובות, אך האקדמיה באופיה מאוד חד-דיסציפלינרית ואולי מעכבת את

תעשיית המזון. "יש לנו עניין לאתר את הטכנולוגיות החדשניות ופורצות הדרך, כדי לעמוד בתחרות עם ענקיות המזון בעולם ולכן זקוקים למודל ייחודי. המודל הוא יצירת קהילת 'FoodTech', המקיפה את כל העוסקים בטכנולוגיות רלוונטיות לתעשיית המזון - מחקלאות דרך טכנולוגיות תהליך, מערכות חישה ובקרה, כלים אנליטיים, מיקרוביולוגיה ועד לרפואה".

רב-תחומיות בתכניות לימוד אקדמיות

אחד המושבים המקבילים בכנס עסק בחשיבות בניית תכניות לימודים המותאמות לתעשייה והציג בפני משתתפיו לא מעט דוגמאות מהשטח. אלה הראו כיצד מודלים ופעילויות להטמעת לימודים רב-תחומיים של חברי סגל וסטודנטים בתעשייה, ובכלל זה מעורבות של התעשייה בקידום החדשנות בתכניות הלימודים, מהווים אבן דרך לבניית מקצועות העתיד בתוך האקדמיה לטובת צרכי התעשייה.

ד"ר דורון פארן וד"ר חוסיין נסראלדין, מהמחלקה להנדסת תעשייה וניהול במכללת אורט בראודה, הצביעו על המתח הקיים בין הצורך הפרגוגי להציב ולהשיג יעדי למידה מוחשיים ומוגדרים לבין העולם האמיתי. "מנהלים בכירים מהתעשייה, במסגרת מועצה מייעצת של המחלקה להנדסת תעשייה וניהול, העלו את הצורך בחינוך אקדמי שבו מהנדס תעשייה וניהול ילמד, לא רק תיחום חד של מרחב הבעיה, הצבה מתאימה וחילוץ ערך אופטימלי, אלא יהיה פתוח להבין ולקבל את ההתנגשות בין השקפות וערכים העומדים בבסיס תחומים שונים, ואשר מובילים לפתרונות שתועלתם ומחירם יחסיים".

יישום גישות רב-תחומיות בתעשייה הישראלית

המושב שעסק ביישום גישות רב-תחומיות בתעשייה הישראלית, כלל נציגות נכבדת של חברות העוסקות בננוטכנולוגיה. ד"ר משה אורון, המדען הראשי בחברת קילומבדה, המפתחת מערכות מתגים אופטיים ומגנבים אופטיים פסיביים, הציג שילוב טכנולוגיות ליצירת מוצרים חדשניים לבקרת הספקי אור במערכות תקשורת. ד"ר אורון סקר את הטכנולוגיות החדשות, וביניהן "המסנן החכם", הנותן מענה לסכנות פגיעת לייזרים ומקורות אור חזקים אחרים במערכות תצפית אופטית - דוגמה

לזכרו של פרופ' יוחנן ארזי



בני המשפחה של פרופ' ארזי ז"ל ופרופ' אריה מהרשק, נשיא המכללה

הכנס נפתח בטקס לזכרו של פרופ' יוחנן ארזי, נשיא הקודם של אורט בראודה, אשר נפטר במהלך תפקידו. משפחת ארזי נכחה בכנס בהרכב מורחב. ד"ר לימור גבעון, בתו הבכורה של פרופ' ארזי, אמרה: "מכללת אורט בראודה הייתה משמעותית מאוד עבור אבי. הוא האמין בחינוך ובמצוינות בדרך להצלחה ושגשוג. אנחנו מרגישים שהוא עדיין חי במכללה, בהישגים בלימודים, במחקרים ובכנסים. אנחנו מברכים את הסטודנטים המצטיינים, ומאחלים הצלחה בהמשך הדרך".

בתסמונת הרגל השמוטה. מיכה אגא ותומר וינברג, בוגרי התכנית להנדסת תכנה, שעבודת הגמר שלהם עסקה במערכות תומכות החלטה לתכנן אוטומטי של מעגלים לוגיים. העבודה, שבוצעה בהנחיית ד"ר מירי וייס-כהן מהמחלקה להנדסת תכנה באורט בראודה, שילבה בינה מלאכותית, מודלים של אופטימיזציה ואלמנטים מהנדסת חשמל ותוצריה מיושמים בתעשייה. סופיה לרמן, בוגרת התכנית להנדסת ביוטכנולוגיה, ביצעה עבודת התמחות בפקולטה להנדסה אזרחית בטכניון, בהנחייתם של פרופ' קרלוס דוזורץ ומר אבנר רונן מהטכניון וד"ר עיסאם סבאח מהמחלקה להנדסת ביוטכנולוגיה באורט בראודה. העבודה עסקה בפיתוח טכנולוגיה מקורית, שתקטין זיהום על ממברנות בתהליכי טיהור מים. החשיבות שייחס פרופ' ארזי לאיכות ומצוינות, כמו גם לקשר בין התעשייה לאקדמיה, היא מקור ההשראה להנצחת זכרו באמצעות הענקת פרסים לבוגרים אלה, שעבודתם מהווה ביטוי למורשתו. ■

המכללה בחרה להנציח את זכרו של פרופ' ארזי באמצעות הענקת פרסי מצוינות לבוגרים, על עבודת ההתמחות שביצעו בשנת לימודיהם האחרונה. הבוגרים שזכו בפרס הכספי הם: שני גולדמן, בוגרת התכנית להנדסת תעשייה וניהול, אשר התמחותה בוצעה ברפאל. עבודתה, שבהנחיית משה ו. מרפאל ומר מוטי להב מהמחלקה להנדסת תעשייה וניהול באורט בראודה, עסקה ביישום שיטת ניהול פרואקטיבי בפרויקטים (פרויקט "מנוהל" ולא "מתנהל"). בעקבות עבודתה אומצה שיטת ניהול זו בפרויקטים בחטיבה שבה עבדה. חן אברהם, בוגרת התכנית להנדסת מכונות, אשר ביצעה פרויקט תכן ובנייה של מתקן למדידת התכווצות שריר וטווח תנועה במהלך עירור השריר השוקתי הקדמי (Tibialis Anterior) י"ג גירוי חשמלי. המתקן הייחודי שנבנה, בהנחיית ד"ר אורית בראון-בנימין מהמחלקה להנדסת מכונות באורט בראודה ובשיתוף פרופ' יוכי לויפר מהחוג לפיזיותרפיה באוניברסיטת חיפה, נועד לטיפול

ד"ר קפטן התייחסה לצורך בתעשייה למציאת מהנדסים מנהלים רב-תחומיים, ושאלה את המשתתפים בפאנל כיצד ניתן לזהות בוגרים בעלי יכולת כזו. בן משה טען: "כולם רוצים להיות מנהלים, אך חשוב להתבשל וללמוד בתחום שבו עוסקים לפני שמגיעים להיות מנהלים. האקדמיה צריכה לפתוח מסלולי התמחות מוגדרים".

פרופ' מהרשק הסביר, כי "נכון שכולנו רוצים להיות מנהלים, אך היכולת להיות מהנדס רב-תחומי נמצאת בדי.אן.איי של האדם. ישנם אנשים שיפעלו בכל דרך לעבור על פרויקטים מורכבים, ואילו יש כאלו שמעדיפים להתמחות ולהתמקצע בתחום אחד בלבד. אני מאמין שאדם יכול להעיד על עצמו ככזה. מה שמייחד מהנדס רב-תחומי זה העובדה שהוא מתעניין מה עושים אנשים מסביבו, ולא מתעניין אך ורק בפרויקט או במשימה של עצמו. הוא תמיד ישאל ויחקור לגבי פעילות ותעסוקה של אנשים נוספים. ברפאל ניתן למצוא מהנדסים כאלו". לדברי קוריאט, "מי שידע להתאים עצמו לסביבה, לנהל ידע בסיסי ולשלב ידע מתחומים נוספים תוך שיתוף עובדים אחרים, ניתן יהיה לזהותו כרב-תחומי". רוטו הוסיף: "יש אנשים שמתבוננים עמוק לתוך תמונה ויש כאלו שמסתכלים עליה מלמעלה. אני מאמין שהראייה רחבה הרבה יותר מלמעלה ומאפשרת יצירתיות ושיתופי פעולה חדשניים".

שאלת בונוס מהקהל

אחת השאלות שנשאלו מהיושבים בקהל במהלך הפאנל, התייחסה לכך שמהנדסים נדרשים להתמקצע בתחום ספציפי ועליהם להוסיף תחומי ידע נוספים - דבר הדורש לימודים ארוכים וקשים יותר. פרופ' מהרשק ענה, כי על מהנדס להיות בקיא דבר ראשון בתחום המקצועי שבו בחר, "אחרת לא יהיה בידו הידע הבסיסי לו הוא נדרש בעבודה". רוטו הוסיף, כי באלבית מאמינים שקשה להתחיל לתפקד כמהנדס מולטי-דיסציפלינרי מההתחלה. חשוב לבנות את הידע מהיסודות. קוריאט טען, כי "ישנה חשיבות גדולה בהבנה עמוקה של בסיס הידע, ורק לאחר מכן יש להלביש נושאים נוספים שיאפשרו מבט כולל ורב-תחומי שביא ליצירתיות גדולה יותר ולקפיצה אליה שואפת התעשייה בישראל". יו"ר הכנס, שני אילני, סיכמה את הדברים, וציינה כי כנס תעשייה אקדמיה הרביעי סיפק דיונים והרצאות מרתקות ומלאות יצירתיות וחדשניות מפי אנשי אקדמיה ובכירים בתעשייה, אשר הוכיחו את חשיבות הרב-תחומיות בתפקידו של המהנדס הישראלי. ■

**כשחושבים על תואר שני
בהנדסת מערכות
חושבים אורט בראודה**

תואר "מוסמך במדעים" (M.Sc.) בהנדסת מערכות מעניק כלים להבנה מערכתית רב-תחומית ויכולת ליצור מערכות הנדסיות מורכבות, ידע מדעי ומחקרי בפתרון בעיות מערכתיות.

אורט בראודה המכללה האקדמית להנדסה
הבחירה של התעשייה
 braude.ac.il | *9099



שוקי שטאובר



ד"ר אביגדור זונשיין

ראייה מערכתית רבת-תחומית: מיומנות מרכזית של מהנדס מערכות

מהן התכונות הנדרשות כיום ממהנדס מערכות, שצריך לתת מענה לצרכים דרך חשיפה לתחומים טכנולוגיים רחבים תוך עיסוק בסוגיות ניהוליות וארגוניות

לדברי גורמן אוגוסטין, בעבר מנכ"ל לוקהיד מרטין, "לעומת מהנדסים, הפותרים בעיות הנדסיות, מהנדסי מערכות מתמודדים עם בעיות שיש בהן קונפליקט מובנה ומרכיבים רבים. הם עושים זאת על ידי אנליזות ועל ידי ביצוע Trade-Off, קרי תהליך של יצירת איזון בין שיקולים שונים, המשפיע גם על קביעת המינוח הראוי של כל מרכיב במערכת. זהו אחד מתחומי העשייה החשובים ביותר של הנדסת מערכות".

תכונות אלו מאפשרות למהנדס המערכת ליצור את מלאכת התיאום והאינטגרציה בין תת-המערכות המרכיבות את המערכת שעליה הוא מופקד.

שלוש תכונות בסיס

כדי שמהנדס מערכת יהיה מסוגל להציג את היכולות הנדרשות לביצוע מוצלח של התפקיד, עליו להיות בעל שורה של תכונות בסיס. המנהל הבכיר מהתעשייה האווירית מציג שלוש כאלו: תכונה אחת היא שילוב של פתיחות, סקרנות ואי-קבלת דברים כפשוטם. "מהנדסי מערכות הם אנשים דינמיים המעורבים בתחומים רבים. הראש שלהם פתוח, הם שואלים שאלות ומנהלים אתן, כמנהל, דיאלוג. אם אתה רוצה מהם משהו, הם לא הולכים ומבצעים, אלא שואלים אותך למה אתה צריך את זה. הם גם בוחנים אתך אם פתרון אחר הוא פתרון טוב".

תכונה שנייה היא יכולת למידה. "מהנדס מערכות צריך להיות מסוגל, גם בגיל 45, ללמוד, לפתוח את הראש. לדוגמה, הלקוח מעלה דרישה למערכת בקרת טיסה חשמלית. אתה לא יכול להגיד לו: 'לא, נחזור למערכת בקרת טיסה מכאנית, כי אותה אנחנו מכירים'. פותחים ספרים, הולכים לקורסים ומתחילים להבין".

תכונה שלישית היא שיטתיות. "מהנדס מערכות הוא אדם מתודולוגי. יש לו שיטה וכלים. עליו לאמץ חשיבה תהליכית".

מאליו מובן, שאין מודל אחיד של מהנדס מערכות. כל אחד פועל בדרך שונה, על פי נטיות לבו ותכונות הבסיס הבולטות שלו. מסביר קובי ר': "יש מגוון של מהנדסי מערכות, כאלו שהם האורים והתומים של הארכיטקטורה. הם עושים רק 'תפירות קונספטואליות' ברמת האלגוריתם החדש או ברמת הקונספט הטכנולוגי החדש. לעומתם, יש מהנדסי מערכות שמגדירים תהליכים, משלבים יכולות, מבצעים אינטגרציות לשלבי הניסוי, ומביאים את המערכת עד לשלב הסופי של פיתוח המוצר".

מאמר זה הוא חלק ממחקר המבוצע במסגרת מרכז גורדון בטכניון, מבוז טכנולוגי לישראל; שוקי שטאובר, מ.א. בלימודי עבודה מאוניברסיטת תל אביב, יועץ בכיר לניהול ועיתונאי; ד"ר אביגדור זונשיין, מהנדס מערכות ותהליכים בכיר ברפאל, חוקר במרכז גורדון להנדסת מערכות בטכניון, יו"ר ועדת תקינה מרכזית לניהול ואיכות במכון התקנים הישראלי

לראות את התמונה הכוללת ולהפעיל את השכל הישר, כדי לסנן פרטים פחות חשובים, אחרת הירידה לפרטים תשבש את תהליכי העבודה שלו".

ראייה מערכתית כוללת אינה יכולה להתקיים ללא יכולת חשובה אחרת - רבת-תחומיות. לדברי פרופסור אביב רוזן מהטכניון, "מהנדסי מערכות הם אנשים המוכנים להיכנס לתחומים שהם לא תחום המחייה הטבעי שלהם. המחשה לקביעה זו מביא המנהל הבכיר מהתעשייה האווירית: "מהנדס מערכות צריך לקחת בחשבון את הסוגייה התקציבית. הוא חייב להבין שכסף הוא פרמטר דומיננטי. אם מהנדס מערכות הוא ממוקד טכנולוגיה, אין לו את האיזון הנכון הנדרש ממהנדס מערכות טוב". הוא מוסיף, כי "מהנדס מערכות צריך להיות בעל יכולת לדבר עם מגוון מומחים בשפה פשוטה ומובנת".

יכולת הפישוט אינה חשובה רק לצורך השיח עם מגוון של מומחים, אלא גם כדי לתת מענה על צרכים טכנולוגיים. ג'ון תומס, יו"ר INCOSE (האיגוד הבינלאומי להנדסת מערכות), סבור, כי היכולת לפשט דברים, "לראות מעבר לטכנולוגיה ולהבין את הבעיות", מאפשרת למהנדס מערכות למלא את אחת ממשמיותיו החשובות ביותר - פתרון בעיות.

מוסיף קובי ר', מהנדס מערכות ראשי ברפאל: "מהנדס מערכות צריך יכולת 'לחתוך'. מהנדסים נוטים לסבך דברים, ואילו עליו לעצור אותם, כי כיום יש יכולות טכנולוגיות אינסופיות. אחת התכונות החשובות להצלחה של מהנדס מערכות, היא היכולת לפשט באווירה של סיבוך ומורכבות. מהנדס מערכות טוב מונע מהסיבוך לצאת החוצה".

ה"יכולות הטכנולוגיות האינסופיות" מייצרות מגוון אפשרויות פעולה, אך מנגד ריבוי האילוצים מחייב לבחור ביניהן בצורה מושכלת. לכן, אחת התכונות החשובות, אשר להן נזקק מהנדס מערכות, היא יכולת בחירה בין חלופות.

הנדסת מערכות היא מקצוע בהתהוות, המקשר בין תחומי ההנדסה הקלאסיים לבין מערכות ניהוליות וארגוניות.

בעבר הייתה הבחנה ברורה בין מהנדסים מקצועיים, המיומנים בתחומם (כמו מהנדסי אלקטרוניקה, מהנדסי מכונות או מהנדסי מחשבים) לבין אנשי ניהול ואינטגרציה, ששילבו בין המערכות הטכנולוגיות שפיתחו אותם מהנדסים. ההתפתחות הטכנולוגית המואצת והגלובליזציה יצרו מצב, שבו הפרדה זו עיכבה תהליכים ופגעה ביכולת הפיתוח, וממילא ביכולת התחרות של אותם ארגונים, אשר המשיכו בבלי דעת לקדש את ההבחנה בין שני תחומי-על אלו. אם, לדוגמה, בעבר מהנדס יכול היה לדרוש לבצע אינספור ניסויים חוזרים כדי להגיע לשלמות טכנולוגית, הרי כיום עליו להתחשב בזמינות משאבים ובעמידה בלוח זמנים. הוא אינו יכול עוד לפעול על פי שיקולים הנדסיים "טהורים", כי אם לקחת בחשבון אילוצים מערכתיים נוספים - עתה עליו לחשוב כמהנדס מערכת.

מהנדסי מערכת מאמצים דפוסיים של חשיבה ניהולית, משום שלא ניתן עוד לנתק את הטכנולוגיה מההקשר הרחב שבו היא מתקיימת. הם פועלים כך במערכות, שבהן לטכנולוגיה יש משקל מרכזי, שם בא לידי ביטוי היתרון היחסי שלהם - הם משביחים את החשיבה הניהולית באמצעות כלי הניתוח ההנדסי שרכשו. לכן מהנדסי מערכת רבים ימצאו בארגונים המפתחים כלי טייס או כלי נשק מתוחכמים, ואילו לעת עתה מעטים (אם בכלל) ימצאו במוסדות פיננסיים או ברשתות קמעונאיות.

מהאמור עולה, כי מהנדס מערכות הוא מהנדס שנכון לעסוק בתחומים, שאינם רק תחומי התמחותו המקצועיים הבסיסיים, אלא נדרש לתת מענה על צרכים דרך חשיפה לתחומים טכנולוגיים רחבים יותר, תוך עיסוק בסוגיות ניהוליות וארגוניות.

מאמר זה מושתת על תחקיר שכלל שיחות עם שורה של מומחים, שהתייחסו לסוגייה זו. אנו מבקשים להביא חלק מדבריהם, המנמקים את הצורך באחד מהכישורים, שאותם מצאנו חשובים לתפקודו של מהנדס מערכות איכותי - ראייה מערכתית כוללת.

לראות את הסוף כבר מהתחלה

בועז דוברין, בעבר מהנדס מערכות ראשי בפיליפס ישראל, סבור, כי תנאי חשוב להצלחתו של מהנדס מערכות, הוא היכולת לראות את סופו של הפרויקט כבר בתחילת הדרך.

מנהל בכיר בתעשייה האווירית מנמק את הצורך בקיומה של תכונה חשובה זו גם מהכיוון ההפוך: "על מהנדס מערכות



איור: Imagebank/thinkstock



ד"ר מתי גולני



ד"ר עידית גולני

מחסום דם-מוח וחדירות תרופות

מחקר בין-תחומי במכללת אורט בראודה מבצע שימוש בכלי מידול ביולוגיים לחיזוי מודל ביולוגי

שבתהליך זה תיקון עבור דוגמה אחת עלול לפגוע באחרת. לכן, תהליך זה מתבצע בצורה מחזורית מספר פעמים רב, בכל פעם, עבור כל הדוגמאות.

יש לזכור כי כאשר המודל לא מוכר לנו, לא ברור בהכרח מהם המאפיינים החשובים. הרבר המעניין הוא, שאם בחרנו כקלט מאפיינים פחות חשובים, אזי במהלך לימוד זה נתוני קלט חשובים (כגון לחץ דם) יקבלו משקל גבוה, בעוד נתוני קלט פחות רלוונטיים (גודל כף רגל או צבע שיער) - משקלם יקטן.

לאחר שהרשת העצבית סיימה ללמוד (ובהנחה שהצליחה), בוחנים אותה ע"י כך שמוזינים לה ערכים מקבוצת התרופות המשמשת לבחינה, שהיא טרם "ראתה" ולמדה, ובוחנים עד כמה התשובה קרובה לנכונה.

מידת הדיוק של הרשת תלויה בגורמים רבים, כגון: בחירת המבנה שלה והתאמתו לבעיה, גודל הרשת, כמות הנתונים, וכמובן נכונותם.

במחקר הנדון נעשה בנוסף שימוש בגישת "חוכמת ההמונים", הגורסת שקבוצת אנשים מגוונת שלכל פרט



(איור: Imagebank/thinkstock)

בה יש פרספקטיבה אישית, תיתן תשובה מדויקת יותר מאשר מומחה בודד. עבור גישה זו נוצרה קבוצה של רשתות עצביות, אשר כל אחת עברה תהליך לימוד על נתונים מעט שונים. קבוצה זו מקיימת מעין "הצבעה" לגבי התוצאה החזויה, והערך שמוחלט על ידי הקבוצה כ"תשובה", הוא החזיון של הקבוצה. תוצאות המחקר הראשוניות מעוררות, ומאוששות יכולת חיזוי חדירות תרופה. ■

ד"ר עידית גולני היא מהמחלקה להנדסת ביוטכנולוגיה, וד"ר מתי גולני הוא מהמחלקה להנדסת תבנה, המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה; המחקר בוצע בסיוע הסטודנטים לתואר שני בהנדסת תבנה גיל סגל ופולינה קפילוב

התשובות שהרשת מפיקה נכונות, המודל מספק. ובכן, כיצד בנויה הרשת? בצורה כללית ביותר ניתן לומר, כי ישנה שכבה של ניורונים שהיא שכבת הקלט, אשר אליה מוזנים הנתונים שאותם צריך לנתח. ישנה שכבה של עיבוד הנתונים, וישנה שכבה פלט המחזירה את התוצאה שאליה הגיעה הרשת העצבית. במקרה זה התוצאה היא סיווג החדירות של התרופה למערכת העצבים המרכזית: גרועה, בינונית, טובה או טובה מאוד.

ברשתות עצביות מקובל להשתמש בתהליך המכונה לימוד מונחה. חישובו על תינוק הלומד לזהות פנים או חפץ. ככל שהוא נחשף ליותר דוגמאות, חווה הצלחות, כך הוא משתפר. בצורה דומה מתנהל תהליך הלימוד של הרשת העצבית, והוא מתקדם ככל שנחשף ליותר דוגמאות.

כיצד מתבצע הלימוד?

הנירון הוא יחידת עיבוד פשוטה ביותר. יחידה זו סוכמת את אותות הקלט הנכנסים אליה, כאשר כל אות מוכפל במשקל הניתן לשינוי. רק במקרה שהסכימה עולה על ערך סף כלשהו המוגדר מראש, הנירון "יורה". האות שהוא יורה יישמש כקלט לנירון שאליה הוא קשור, ויכולים להיות

כמה כאלה. כך עוברים האותות לאורך הרשת, עד שמגיעים לשכבת הפלט.

קבוצת תרופות ידועות, המשמשות לטיפול במחלות של מערכת העצבים המרכזית, חולקה לשניים: קבוצה אחת שימשה ללימוד הרשת, וקבוצה שנייה שימשה לבחינת הרשת. לכל אחת מהתרופות יש כאמור סדרת תכונות (גודל, מסיסות ועוד), שערכיה הונחו לרשת, ויש תוצאה ידועה - מידת חדירות התרופה, שלא הונחה. במקרה שהרשת "חישבה" תוצאה השונה מהתוצאה הידועה, אזי מתקנים באופן יחסי את המשקלים על אותות הקלט של הניורונים השונים, כדי שהתשובה שלה תהיה נכונה (צמצום ההפרש בין התשובה שלה לתשובה הנכונה). מובן

כל אחד מאתנו נתקל בוודאי בשלב מסוים בחייו במחסום כלשהו - בין אם מחסום פיסי, שמנע מאתנו לעבור ממקום למקום, להיכנס ליישוב או לחניה, ובין אם מחסום נפשי, אשר מנע מאתנו לפעול בדרך כלשהי, ליצור, לכתוב. גם לגוף מחסומים משלו - אלו הם מחסומים ביולוגיים, המונעים מעבר של חומרים מאזור אחד למישנהו. מחסומים אלו קיימים, לדוגמה, במערכת העיכול, בשלייה - המהווה מחסום בין האם לעובר, ומחסום דם-מוח (Blood Brain Barrier, BBB), המונע מעבר חומרים ממחזור הדם אל מערכת העצבים המרכזית.

תפקיד המחסומים הביולוגיים הוא חשוב מאוד - למנוע הגעה של חומרים לא רצויים, רעלנים, אל איבר או רקמה חשובים. בצד היתרונות טמונים חסרונות: ישנן מחלות רבות הפוגעות במוח, כגון פרקינסון, סכיזופרניה, אלצהיימר וגידולים סרטניים. במקרים אלו אנו צריכים להשתמש בתרופות, שייכנסו ויפעלו במערכת העצבים המרכזית, אך המחסום דם-מוח מונע כניסתם של חומרים רבים ומקטין משמעותית כניסתן של תרופות רבות.

שוק התרופות הפועלות על מערכת העצבים המרכזית מוערך בכ-80 מיליארד דולר, וחברות התרופות פועלות לאיתור ולפיתוח תרופות חדשות, אך כ-96% מהחומרים הנמצאים בפיתוח אינם חודרים את מחסום דם-מוח באופן משמעותי. חדירת המחסום מושפעת ממספר תכונות של החומר/התרופה, כגון: גודל, מסיסות במדיום שומני ועוד. חומרים קטנים ומסיסים במדיום שומני חודרים טוב יותר למוח מאשר חומרים גדולים ומסיסים במים. בכדי לצמצם את ההשקעה העצומה בחומרים, שמידת חדירתם למוח נמוכה, פותח במסגרת מחקר זה כלי לניבוי/חיזוי מידת החדירות של תרופה חדשה, על סמך התכונות שלה. לצורך כך נעשה שימוש באמצעי מקובל בתחום זה, והוא רשתות עצביות.

רשת עצבית מלאכותית היא מודל מתמטי ממוחשב, המדמה את התהליכים התודעתיים והמחשבתיים המתבצעים במוח, הבנוי מרשת תאי עצב, הקרויים ניורונים. בשונה מפתרון קלאסי, המנסה למצוא נוסחה שתפתור את הבעיה, פתרון מבוסס רשתות עצביות מתמקד בשלבים הבאים: בניית הרשת, לימוד הרשת, וניתוח התשובות שהרשת מספקת. ברשת עצבית פחות חשוב לנו ה"איך", אלא יותר ה"מה" - כל עוד

כשחושבים על תואר שני
בהנדסת תכנה
חושבים אורט בראודה

תואר "מוסמך במדעים" (M.Sc.) בהנדסת תכנה מקנה כלים לניהול פרויקטים מורכבים תחת אילוץי זמן ותקציב, ויכולת להערכת כדאיות שבאימוץ שיטות וכלים הנדסיים עתידיים.

הבחירה של התעשייה
אורט בראודה
המכללה האקדמית להנדסה
braude.ac.il | *9099



ד"ר אופיר לוי

לטפל באיידס באמצעות משחק טטריס

במשך עשור עמלו חוקרים מנוסים על מציאת מידע על התרבות נגיף האיידס • כצעד כמעט אחרון פותח עבורם משחק המזכיר טטריס, ושבו שיחקו כ-600 אלף גיימרים, והבעיה נפתרה בתוך שלושה שבועות • כיום חוקרים בתחום המדע מצפים לעוד שיתופי פעולה מסוג זה, והמודל הבין-תחומי הוא כבר דרישה מסטודנטים לרפואה בעולם

חקר האיידס בשנים האחרונות הייתה להבין כיצד הנגיף מתרבה. נגיף האיידס מורכב בעיקר מחלבונים, וכשהוא נכנס לתא הוא יוצר חלבונים אחרים, כדי לעזור לעצמו להתרבות. החוקרים מצאו חלבון מטרה, שנראה היה כי הוא משחק תפקיד חשוב בתהליך ההתרבות של הווירוס, אך התקשו למצוא את המבנה התלת-ממדי שלו – מה שהקשה על התאמה של תרופה עבורו. לאחר שנים של ניסיונות, החליטו החוקרים לפנות לעזרה ממרכז המחקר ל"משחקיות המדע" (The Center for Game Science), על מנת שאלו ייצרו עבורם כלי שיוכל לרתום את חוכמת ההמונים

בתקופה האחרונה תחומי המחקר המדעיים והטכנולוגיים הופכים ליותר ויותר מורכבים, אך בו זמנית היכולת של בני האדם להתמחות במספר גדול של תחומים הופכת לקשה יותר. אחת הדרכים להתמודד עם בעיה זו היא גישה בין-תחומית לפתרון בעיות מורכבות. עולם הביוכימיה למשל הוא עולם רב-ממדים, שמורכב ממספר גדול של תת-התמחויות. כל אחד מתת-התמחויות הללו דורש שנים ארוכות של לימודים ועבודה בתחום, על מנת להגיע ולהראות חשיבה חדשה ומקורית. תחום הביוכימיה הוביל את המחקר והפיתוח של תרופות בעשורים האחרונים, וכיום מחפשים החוקרים אחר כלים חדשים, אשר יאפשרו לפתח תרופות חדשות בעלות יעילות גבוהה יותר ובטיחות משופרת. האתגר הראשון שאיתו צריכים להתמודד החוקרים בתחום, הוא המבנה התלת-ממדי של החלבון, שאליו רוצים לכוון את התרופה. חלבונים הם אבני הבניין של הגוף שלנו, שמורכב מטריליונים של תאים מסוגים שונים (למשל תאי שריר, תאי עצב, תאי עור), והחלבונים בתאים הם אלו המאפשרים להם לבצע את התפקיד שלהם. כיום, רוב העבודה על המבנה התלת-ממדי של החלבון מתבצעת בעזרת תכנות מחשב.

משחקיות המדע

יש סוגים רבים ושונים של חלבונים, אך כולם בנויים מאותם מרכיבים – שרשרת ארוכה של חומצות אמינו, שהן למעשה מולקולות קטנות שמורכבות מאטומי פחמן, חמצן, מימן, גופרית וחנקן. מבנה השרשרת של החלבונים מתעטע, כיוון שהם לא אוהבים להישאר בקו ישר, אלא מעדיפים להתקפל למבנה תלת-ממדי (מבנה שלישוני). במבנה זה רמת האנרגיה הנדרשת לחלבון היא הנמוכה ביותר, ומצבו הוא היציב ביותר. מפתחי תרופות מנסים לפתח חומרים שמפריעים או עוזרים (אגוניסטים או אנטגוניסטים) לחלבון המטרה (Retroviral Proteases) לבצע את תפקידו. ככל שנרדע יותר על אופן קיפול חלבון המטרה שלנו, כך יהיו לנו אפשרויות רבות לעיצוב חומרים (תרופות) בעלות פוטנציאל ריפוי.

בין המחלות שהיוו אתגר גדול לחוקרים ולמפתחי תרופות בשנים האחרונות, היא איידס. אחת המטרות העיקריות של

המשחק מתחיל עם חלבון שנראה כמו שרשרת גדולה, אך במקום חרוזים או פנינים, השחקנים מוסיפים על גבי השרשרת חומצות אמינו (אבני הבניין של החלבון). מטרת המשחק היא להגיע למבנה החלבון שבו המצב האנרגטי הוא הנמוך ביותר, כלומר המצב הרצוי, ולצבור הכי הרבה נקודות

לצורך פתרון שאלה זו.

מרכז זה הוא גוף מחקר שהוקם באוניברסיטת וושינגטון לפני שנים מספר, והוא מתמחה בפיתוח משחקים לפתרון בעיות מדעיות מורכבות. חוקרי המרכז פיתחו משחק בשם Foldit, שמזכיר קצת את משחק הטטריס, ובעזרתו שחקנים ללא ידע מוקדם בביולוגיה או בביוכימיה יכולים לעזור לפצח מבנים חלבוניים מורכבים.

המשחק מתחיל עם חלבון שנראה כמו שרשרת גדולה, אך במקום חרוזים או פנינים, השחקנים מוסיפים על גבי השרשרת חומצות אמינו (אבני הבניין של החלבון). מטרת המשחק היא להגיע למבנה החלבון שבו המצב האנרגטי הוא הנמוך ביותר

לא פחות טובות (ובמקרה שלנו אף יותר טובות), מאשר תובנות של מומחי התחום. תחום זה, של ניצול המידע הכלוא בהמון, מתפתח במהירות, ומאפשר קבלת תשובות גם בתחומים מורכבים כמו מדע. פיתוח כלים פשוטים להבנה, כמו תצורות של משחקי רשת, מאפשר התפתחות של "מדע העם", ורותם את חוכמת ההמונים לפתרון בעיות מדעיות מורכבות, שמומחי התחום כשלו במציאת פתרון להן.

החיבור הלא טריוויאלי בין עולם משחקי האון-ליין וביולוגיה חישובית הוביל, במקרה זה, לפריצת דרך מדעית, אשר אוששה בשלב מאוחר יותר גם בטכניקות נוספות, ופורסמה לבסוף במאמר שער במגזין Nature. ניסיון זה מלמד כי גם חיבור בין דיסציפלינות המרוחקות זו מזו, יכול להניב תוצאות מצילות חיים. כיום, המודל הבינתחומי מתקיים בכל אחד מתחומי המחקר והפיתוח בעולם הרפואה, וסטודנטים צעירים נדרשים להרחיב את תחומי הידע שלהם, גם לאזורים אשר באופן היסטורי אינם שייכים לתחום המדע הקלאסי. ■

הכותב הוא מנכ"ל חברת BioAssociate

(המצב הרצוי), וכך ניתן הציון הגבוה ביותר. יותר מ-600 אלף שחקנים שיחקו ב-Foldit מאז שפותח, ובתוך כשלושה שבועות הצליחו לפצח את מבנה חלבון המטרה. חשוב לציין שהפתרון היתל בחוקרים במשך יותר מעשור.

השחקנים הביאו למשחק נקודת מבט חדשנית, שאינה מוגבלת לאמיתות מדעיות רציונליות, שחוקרים מנוסים היו נמנעים ממנה. לפעמים, כדי להגיע לתשובה הנכונה או להחלטה קיצונית, צריך לבצע צעד בלתי הגיוני לכאורה, שמוכיל לפריצת דרך. חוקרים בתחום מדעי החיים מקווים כיום, כי טכנולוגיית המשחקים המדעיים תאומץ, וכי גיימרים יוכלו לעזור בפתרון בעיות מדעיות מורכבות, שדורשות צורת מחשבה מקורית ושונה.

החיבור אושש גם בטכניקות נוספות

בשנים האחרונות המונח "חוכמת ההמונים" תפס כותרות רבות, וסביר שכולנו שמענו על ליאור צורף, שיצר הרצאה שלמה ל-TED בעזרת חוכמת ההמונים. המונח "חוכמת ההמונים" מתייחס לכך ששילוב תובנות ממספר גדול של אנשים ללא מומחיות מסוימת, יכולה להוביל לתוצאות

לא רק ברפואה: חוכמת ההמונים מצילה את העולם מדי יום

בעולם שבו המידע נגיש מאי פעם, ואין צורך להתאמץ כדי לאתר מומחה או ידע, מתבקש כי ננצל זאת גם לענייני חיים ומוות, ולמטרות כבדות משקל והרות גורל. רשתות חברתיות ואתרי אינטרנט כמו גוגל, פייסבוק וטוויטר, הם בדיוק מה שגורם לנו להבין עד כמה גבולות יכולים להיות לא רלוונטיים. לא מדובר בהכרח על גבולות בין מדינות, אלא על גבולות בין תחומים וענפים, שמיטשטשים כאשר הרשתות והאתרים החברתיים הופכים לכלי שמבוסס על חוכמת ההמונים, המאפשר כינוס יצירתי ומציאת פתרונות פרטיים או גלובליים.

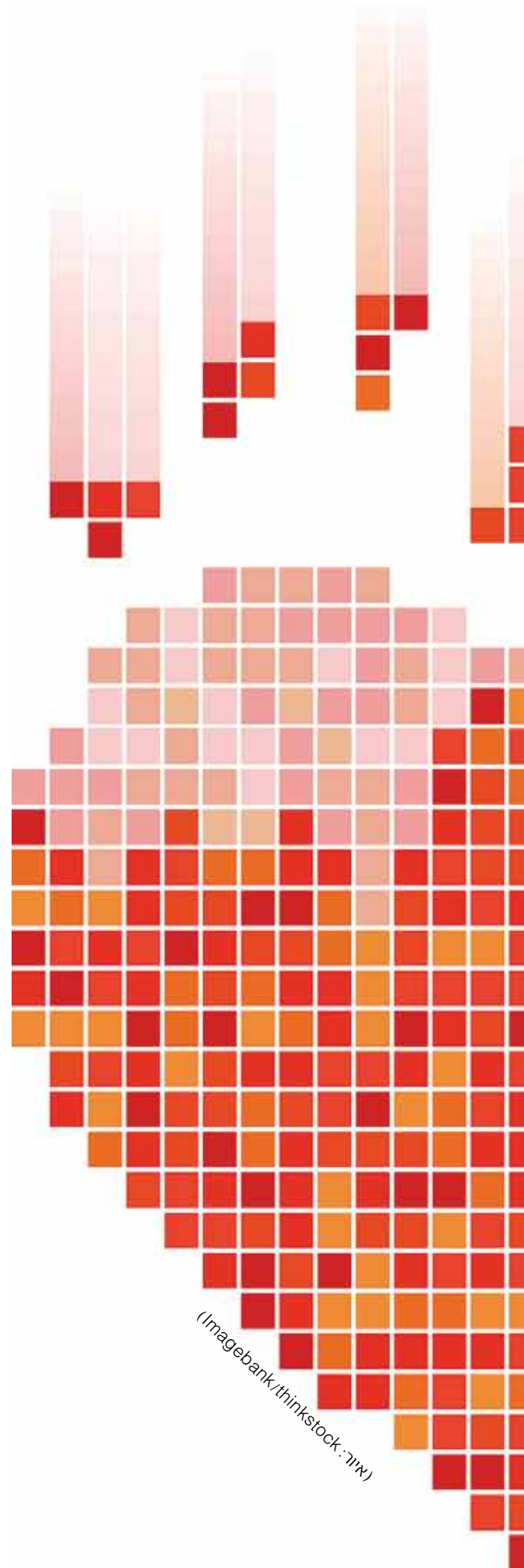
רעידת האדמה שזעזעה את סנראי שביפן במרס 2011, גרמה לצונאמי ולאפלי הרוגים, פצועים ונעדרים. לצערנו, האנושות כבר חוותה לא מעט אסונות טבע קשים, אולם הפעם, בשונה ממקרים אחרים, נערכה רשת האינטרנט והתגייסה ולו במעט למציאת פתרון. המקור לכך היה חברת גוגל. מתברר ששנה קודם לכן, בעקבות רעידת האדמה בהאיטי, הוחלט בענקית החיפוש ללכת עד הסוף עם ייעוד מנוע החיפוש, ולהשיק כלי, מעין אפליקציה אינטרנטית, לאיתור נעדרים תחת השם "Google Person Finder".

הרעיון הוא לאפשר לגופים ממשלתיים, סוכנויות, גורמים מקצועיים ואנשים פרטיים, לאגד כוחות ולפרסם מידע שוטף שיכול להיות רלוונטי, ובכך לסייע לכוחות הפועלים בחוסר אונים בשטח. שילוב הידע הזה אולי לא הצליח למנוע את האסון או לצמצם את ההרס והנזק הפיזי, אולם יש להניח שהייתה לו תרומה שסייעה למצוקת הניצולים. דוגמה נוספת לשילוב הכוחות וליצירת כלי משותף למציאת פתרונות יעילים, הוא אתר האינטרנט InnoCentive. כאן מדובר בשוק פתוח, מעין מכרז לרעיונות שיפתרו בעיות בקנה מידה בינלאומי.

ההיגיון פשוט – אם נפתח את הזירה לכולם ולא נגביל אותה רק לצוות מומחים מקובע מחשבתית, יעלה הסיכוי למציאת פתרון. תוסיפו לכך פרס כספי, והוא יגרל אף יותר. אתר InnoCentive מאגד גופים כמו חברות קמעונאיות ומסחריות, גופי ממשל, כלכלה, סביבה וחברה, במטרה לתמוך, גם כלכלית, במציאת פתרון חדשני ויצירתי לבעיות, שעלולות לעתים להשפיע על האנושות. הגולשים, בלי קשר לניסיונם ורמת התמחותם, מוזמנים "לצאת מהקופסה" ולהציע רעיונות. אחד השימושים החשובים והידועים באתר היה במהלך דליפת הנפט במפרץ מקסיקו בשנת 2010. מומחי תאגיד האנרגיה BP, האחראי לאסון, לא הצליחו במשך חודשיים למצוא פתרון שיעצור את קצב הדליפה המזהמת, שמוערכת כיום ב-300 מיליון ליטרים של נפט. מומחי החברה המקצועיים ואובדי העצות פנו בייאושם לאתר InnoCentive, וביקשו את עצת הציבור. בדעיכה התברר, שוב, שחופש המידע באינטרנט, הוא לא רעיון רע כל כך.

אגב, למתעניינים נספר שבתום שלושה חודשים של דליפה, הכריזה BP כי הצליחה לעצור את הדליפה, הודות למכסה ייעודי שהציבה על מקור הדליפה קילומטר וחצי מתחת לפני הים. המכסה הצליח אמנם לעמוד בלחץ האדיר ולעצור את התפשטות הכתם הנורא, אולם מה שלא נמצא הוא פתרון שינקה את הכתם מעברה של החברה. ■

שירי דובר



איור: Imagebank/thinkstock



ד"ר דורון פארן

חשיבה מערכתית: תהליך וגם תוכן

החשיבה המערכתית מלכדת את אופן החשיבה הכמו-מדעי עם חשיבה ערכית ומונחית מטרה, ונוגעת גם בהיבטים של חברה וסביבה

בעיות הן נתונות, וחשפו את מידת שיקול הדעת הכרוך בעצם הגדרת הבעיה. אלא שגם בעצם הימים הללו נדירים עד לא קיימים המקרים שבהם מתורגלים סטודנטים להנדסה בזיהוי בעיות ובהצבתן.

הסוגייה שמסעירה את בית-צפפא

אם כך, החשיבה המערכתית משיקה לרבות-חומיות בכך שהיא מתכללת את אופן החשיבה הכמו-מדעי (שכבר הסברנו מדוע אינו אלא פסבדו-מדעי) עם חשיבה ערכית וטלאולוגית (מונחית מטרה). היבט רבות-חומי נוסף נוגע לתחום התוכן, ועניינו בהרחבת היריעה מהטכנולוגיה לברה, שהיא מרחב הפתרון המובהק של המהנדס, כך שתכסה גם היבטים של חברה וסביבה. הממשק בין חברה לסביבה ותיק למדי (ומוכר בשם "הגייסה הסוציאלית"), והרחבתו לנושאי סביבה אמנם מאוחרת יותר בזמן אך גם היא לא ממש חדשה.

דוגמה אקטואלית למשמעות החברתית-סביבתית של בעיה הנדסית, ליחסיות של תיחום הבעיה ולמטען הערכי שנושא עמו כל פתרון, ניתן לראות באלו הימים בסוגייה שמסעירה את הכפר בית-צפפא שלידי ירושלים: תכנון כביש מהיר בקרבה יתרה לבתי הכפר. לכאורה פתרון הנדסי-חברתי לבעיה קיימת, אולם למעשה סוגייה שיש לה משמעויות והשלכות בהיבטי חברה, סביבה, מדיניות, ביטחון ומה לא.

המקצוע הנדסת תעשייה וניהול, שנלמד במחלקה שאליה אני משתייך, הוא קרוב לוודאי המתאים ביותר לשמש כחלוץ בהטמעת הגייסה של חשיבה מערכתית בתכנית הלימודים. מהנדסי תעשייה וניהול הם הקרובים ביותר לממד האנושי-חברתי, בהיותם אמונים על ארגונים ועל תהליכים (אם כי לתחומי הנדסה אחרים יש לעתים השפעה גדולה בהרבה על חברה וסביבה). הצבנו בפנינו את האתגר של שינוי תודעת בכיוון זה, ואנו שואפים לממשו.

הכותב הוא חבר סגל במחלקה להנדסת תעשייה וניהול, המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה



(צילום: Imagebank/thinkstock)

ערכים. כמובן כל תיחום שונה של הבעיה יניב מרחב שונה של פתרונות, אך יתרה מזו: לכל פתרון יש גם "מעגלי משוב" (קרי השפעות לוואי) אחרים, ובהתאם לכך מחיר פתרון שונה. קביעת מחיר, אם כן, היא תלויה ערכים. נקל לראות עד כמה שונה חשיבה כזו מחשיבה מדעית: המדען אמור להסביר את העולם, לא לפתור בו "בעיות" (שימו לב שבשפת המדע של קרל פופר, הבעיה אינה אף פעם בעולם המוסבר אלא במדע שאינו מבין את העולם); המהנדס אמור לנקוט עמדה ולעשות מעשה – ולא בהכרח כולם ייחוו מהמעשה במידה שווה.

ההיבט של הפניית הזרקור מהפתרון לבעיה מתקשר להיבט הערכי ומשלים אותו: לא עוד חשיבה על הבעיה כמצב נתון, "טבעי", אלא הקדשת תשומת לב מיוחדת לשלב הקרוי אצל הרברט סימון "הצבת הבעיה". מעניין לציין, כי כבר לפני שישים שנה הפריכו סימון ועמיתיו את ההנחה השגורה דאז, אשר לפיה

הדימוי העצמי של מהנדסים הוא של אנשי מקצוע אוניקטיביים, המקבלים החלטות על סמך שיקולים מקצועיים. דימוי זה הוא בין היתר תוצאה של חיברות שיטתי, המוטמע במהלך לימודי הנדסה ומועצם על-ידי הקהילה המקצועית, התקשורת והחברה בכלל. המסר המועבר בתהליך החיברות הוא של "מדעיוזיה", קרי הקבלה בין הנדסה לבין מדע, ומכאן גם הורשה של מאפייני המדע – אוניקטיביות, אמיתות ותוקף (אגב, האמור נכון גם למקצוע הניהול).

ביטוי אופייני של המוסכמה קיים בהנגדה הרווחת בין החלטות "פוליטיות" לבין החלטות של אנשי מקצוע – כאשר הראשונות נחשדות אוטומטית כמונעות אינטרסים, בעוד האחרונות מיוחסות אוטומטית ל"טובת העניין". האמנם כך? החינוך לחשיבה מערכתית קורא תיגר על הנחות אלו, ומצהיר בריש גלי: הנדסה משלבת ערכים סובייקטיביים, ומאחר שאין מהנדס יכול להשתחרר מערכיו, מוטב לו להכיר בהם – ואותם.

ככלל, החינוך הנדסי עומד בעשרים השנים האחרונות תחת מתקפה בין-יבשתית: באמריקה, באירופה ובאוסטרליה מתרבה האכזבה מהחידושים הטכנולוגיים, שמפגינים מהנדסים, ומגיתוקם מהיבטי חברה וסביבה הנובעים מעבודתם – אכזבה המוצאת ביטוי ברוחות ממשלתיים ובחשבונות נפש אקדמיים. החשיבה המערכתית מציבה שתי הנגדות להכשרה השמרנית: האחת, הבלטת הממד הערכי בתהליך קבלת ההחלטות; והשנייה, הפניית הזרקור מפתרון הבעיה לזיהוייה ולהצבתה.

נתחיל בממד הערכי: ערכים מעורבים באורח בלתי נמנע בכל קבלת החלטות. לא ניתן לטעון לקבלת החלטות אוניקטיביות, גם אם הפרמטרים הם כמותיים והפתרון לכאורה אלגוריתמי, מהסיבה הפשוטה שבחירת המשתנים ודרך הפתרון הם תוצר של החלטה. החשיבה המערכתית עוד מגדילה לעשות, ומקדימה את הכורח לקבל החלטות כבר לשלב הצבת הבעיה. הכיזד? אנו למדים באמצעותה, כי אין למרחב הבעיה תיחום "טבעי", וכל תיחום הוא תוצאה של החלטה שרירותית – וככזה הוא תלוי

כשחושבים על תואר שני
בהנדסת תעשייה וניהול
חושבים אורט בראודה

תואר "מוסמך במדעים" (M.Sc.) בהנדסת תעשייה וניהול*
מקנה כלים לפתרון בעיות הנדסיות מורכבות וליישום הידע בארגון,
מיומנויות בפיתוח מודלים מורכבים, ניתוח אירועים וניתוח נתוני שדה.

*התכנית נפתחה בהיתר המל"ג; הענקת התואר מותנית באישור המל"ג

הבחירה של התעשייה
אורט בראודה
המכללה האקדמית להנדסה
braude.ac.il | *9099



עמית מתתיה

רב־תחומיות כיתרון תחרותי

מדוע צמחה דווקא בישראל תעשיית אלקטרואופטיקה מפוארת, ואיך הפכה אופגל למובילה עולמית

גם מיקומנו הגיאוגרפי, בין אירופה, אסיה ואפריקה, מקל עלינו את הגישה לשווקים אלה. אנו נרחפים לשווקים הבינלאומיים במהירות רבה יותר. השוק המקומי משמש אמנם כמעבדה מצוינת לניסויי שדה ומכירות ראשונות, אך מהר מאוד אנו חייבים לחדור לשווקים הגדולים בעולם כדי לכסות על עלויות הפיתוח והייצור. במדינתנו הקטנה והמבודדת פורחת גם תעשייה ביטחונית מפוארת המספקת דלק רב לחדשנות ההייטק המקומי. אופגל, למשל, שצמחה בלב התעשייה הביטחונית הישראלית, היא ספקית חשובה של מערכות ראיית לילה ליצרנים ביטחוניים מובילים בארץ ובעולם. מערכות תצפית קרקעיות ומוטסות, מערכות נהיגה לרכב קרבי משוריין וכוננות נשק בצבאות רבים בארץ ובעולם מבוססות על מערכות ההדמיה התרמית של אופגל.

בנוסף, הטכנולוגיה של אופגל פרצה לתחומים אחרים שונים בתכלית, החל ממערכות להנחת מטוסי מנהלים בתנאי מזג אוויר קשים, עבור דרך מגוון רחב של מצלמות אבטחה, וכלה במערכות לגילוי דליפות גז בתעשייה. מינוף הטכנולוגיה של אופגל מהשוק הביטחוני למגוון שוקי מוצר אחרים, שכולם שונים כל־כך זה מזה, הוא אתגר רב־תחומי בפני עצמו.

נדרשת גם היכרות מעמיקה עם עולמות התקינה השונים, כי כדי לבנות מערכת מוטסת יש לעמוד בתקני התעופה הבינלאומיים, וכדי לבנות מצלמה לגילוי דליפות גז יש לעמוד בתקנים של עבודה בסביבות נפיצות, שלא להזכיר תקנים צבאיים הנדרשים למערכות הצבאיות. לא פחות מורכב הוא האתגר העומד בפני מנהלי השייווק והמכירות בחברה.

איך מתמודדת חברה לא גדולה כאופגל עם מגוון כה רחב של אתגרים? ביצירתיות. רב־תחומיות ויצירתיות מתפתחים בסימביוזה, כי ההשלכה מתחום אחד למשנהו מצמיחה רעיונות חדשים. היותנו רב־תחומיים, אם כן, הוא יתרון תחרותי מרכזי של תעשיית ההייטק הישראלית. לא צריך מצלמה תרמית כדי לראות שאם נשכיל להמשיך לטפח את הרב־תחומיות שלנו מגיל הגן, דרך בית הספר ועד לאקדמיה ולתעשייה, נוכל לשמר ולהעמיק את יתרוננו התחרותי בשוקי ההייטק בעולם. ■

הכותב הוא מנכ"ל אופגל תעשיית אופטרוניקה



צילום: איל צהור

המורכבות הרב־תחומית משמשת לאופגל גם כמגן וגם כרומח. מתחרים החסרים ידע בתחומים השונים יתקשו להתחקות אחרי הפיתוחים, ויביאו לשוק מוצרים נחותים יותר.

הפריצה הטכנולוגית הבאה של אופגל לא תגיע, מן הסתם, רק משימוש ברכיב אלקטרוניקה סטנדרטי מהיר יותר, מכיוון שרכיב זה יהיה זמין גם למתחרים. המפתח לשמירה על יתרון תחרותי טכנולוגי, טמון במידה רבה ביכולתם של המהנדסים לשלב ידע בין־תחומי ולפרוץ קדימה ברעיונות חדשניים. ככל שגדלה המורכבות הרב־תחומית, גדלים חסמי הכניסה למתחרים, וגדל גם מרחב האפשרויות לחדשנות אמיתית.

על קיבוץ גלויות והיהודי הנודד

מה עוד נדרש מחברה כדי להיות מובילה בתחומה? צריך לדעת גם לשווק ולמכור ברחבי העולם. אחד היתרונות התחרותיים של תעשיית ההייטק הישראלית נובע מהיותנו מדינת קיבוץ גלויות. איפה עוד תמצאו מצבור כה גדול של אנשי מכירות דוברי שפות רבות? רב־תרבותיות טובעה בדמנו, וההסתגלות שלנו לסביבה היא מדהימה. לא נדיר למצוא אנשי מכירות שמטפלים בלקוחות מבליגיה ועד בייג'ינג בלי להתבלבל.

גם "היהודי הנודד" עזר לנו. באיזו עוד מדינה תמצאו אנשי עסקים כמונו הישראלים, עם רשת של חברים מהתיכון, מהצבא וממקומות העבודה הקודמים, הפרוסה בכל פינה בעולם?

נתחיל בהסבר קצר על הרמאה תרמית: מצלמה תרמית דומה למצלמה רגילה, אלא שתחום ה"ראייה" שלה שונה מתחום הראייה האנושי. אנו רואים בתחום תדרים צר מאוד, כשכל אורך גל מייצג צבע על פני קשת הצבעים. המצלמה התרמית מתוכננת לקלוט גלים בתחום האינפרא־אדום שאינו נראה בעין. גלים אלה משתנים בהתאם לטמפרטורות העצמים, שאליהם מכוונת המצלמה ומכאן שמה – מצלמה תרמית. רגישותה של המצלמה התרמית להבדלי טמפרטורה של שבירי מעלה, מאפשרת למשתמש "לראות" גופים בחשיכה מוחלטת רק על פי החום הנפלט מהם, או יותר נכון – לפי הפרשי החום בינם לבין סביבתם. לו הסתכלתי עליכם עכשיו במצלמה התרמית, הייתי רואה בבירור את דמותכם על רקע הקיר הקר, ואת ידכם בהירה יותר ביחס לשעון שעליה ולעיתון שאתם מחזיקים. בדיוק אותה התמונה הייתה מתקבלת בין אם האור בחדר היה דלוק ובין אם כבוי. מה נדרש כדי לבנות מצלמה תרמית? ידע רב באלקטרוניקה ואופטיקה, שתי דיסציפלינות שונות בתכלית. המערכת האופטית התרמית, בנוסף לתכונות הרגילות המוכרות לכולנו מעולם הצילום, כמו מיקוד, זום וכדומה, צריכה לתת מענה גם לאתגרים הייחודיים הקשורים בתחום האינפרא־אדום. זכוכית, למשל, חוסמת גלי אינפרא־אדום, ולכן יש צורך בחומרים מיוחדים ותכן אופטי מתקדם לבניית העדשות התרמיות. הגלאים התרמיים הם מוליכים למחצה – רכיבי סיליקון שתהליך הגדרתם וייצורם דורש ידע רב. יש גם צורך בידע רב בהנדסת מחשבים, חומרה ותכנה, על מנת לעבד ולהפוך את האותות היוצאים מהגלאי התרמי לתמונה חדה וברורה. בנוסף, דרוש גם ידע בהנדסה מכנית לבניית מצלמה חזקה ואמינה, במשקל סביר, שתהיה עמידה בתנאי מזג אוויר ועוד. כלומר, כדי לתכנן מצלמה תרמית עובדים באופגל צוותי מהנדסים בין־תחומיים. כל מהנדס ומומחה חייב להתמחות במספר תחומים, ולהבין לא רק את חלקו אלא את המערכת כולה. וכמו בכל ענפי ההייטק, גם תחום האלקטרואופטיקה מתקדם בצעדי ענק. מזעור ממדים, הקטנת הספקים, הארכת טווחים, הגדלת כוח החישוב והרחבת מעטפת הביצועים – כל אלה דורשים השקעה מתמדת במחקר יישומי רב־תחומי ופיתוח מוצרים חדשים.

"בוגר במדעים" (B.Sc.) בהנדסה אופטית באורט בראודה

בשנה הבאה יצאו להתמחות בתעשייה סטודנטים להנדסה אופטית*, שהוכשרו במיוחד לאור דרישת השוק למהנדסים מומחים, מצוידים בידע רחב בנושאים פיזיקליים בעלי זיקה לאופטיקה, ביישומי אופטיקה ובשילובה בטכנולוגיות רב־תחומיות.

*התכנית נפתחה בהיתר המ"ג; הענקת התואר מותנית באישור המ"ג

הבחירה של התעשייה של אורט בראודה המכללה האקדמית להנדסה braude.ac.il | *9099

זו לא אשליה אופטית, התעשייה מתקרבת...

"המעבר של מידע בין אקדמיה ותעשייה הוא חשוב במיוחד לכלכלת ישראל"

המדען הראשי של משרד המדע והטכנולוגיה, פרופ' אהוד גזית, בריאיון מיוחד ל"גלובס לתעשייה" על מצב החדשנות בארץ ("כ'מדינה קטנה מוקפת אויבים' יוצרים פה חדשנות רבה במיוחד"), על שיתופי הפעולה של התעשייה והאקדמיה ("צריך לייעל את התהליך הזה") ועל מצב החינוך ("אנחנו במקום טוב, אבל אמורים להיות במקום טוב יותר") • שיחה על איך עגבניית שרי ודיסק און קי הפכו ידע אקדמי להכנסות של מיליארדים / **שירי חביב ולדהורן**



פרופ' אהוד גזית. "אנחנו פועלים לחנך האנושות"

מוסיף גזית, "בכובע הממשלתי אני יכול לומר שהמטרה של ישראל כמדינה היא למקסם את ניצול הקניין הרוחני שנוצר בה, ולהפוך אותו להכנסות כספיות. כל אקדמיה היא מקור לחדשנות, וזה נכון לכל מדינה, אבל בישראל, כ'מדינה קטנה מוקפת אויבים', יוצרים חדשנות רבה במיוחד. בכמות הפטנטים לנפש ובייצור של ידע אקדמי בסיסי, אנחנו בהחלט במקום טוב".

"בכובע של המדען", מוסיף גזית, "אני יכול להגיד שיותר מהכנסות, אנחנו פועלים לטובת האנושות כשנוצרים פה תרופות ומוצרים חדשים".

באיזו דרך אתה מצדד - מסחר הידע לחברה גדולה מחו"ל, או הקמה של סטארט-אפ?

"זה נושא סבוך ומורכב. ישראל היא משק קטן, ואחת הבעיות הגדולות היא התחרותיות. מגבלות על יצוא קניין רוחני דומות, במידה מסוימת, למכסים. מטילים מכס על יבוא מוצרים, ומסבירים שבכך מגנים על התעשייה המקומית, ומונעים היצף ותחרות לא הוגנת. אך לאורך זמן אנחנו לומדים ששוקים עם מכסים גבוהים הם לרוב פחות מפתחים. כלומר, דווקא הורדת המכסים, באופן פרדוקסלי, גורמת להתפתחות".

"בקניין הרוחני יש משהו דומה. כשהתעשייה הישראלית נמצאת בתחרות עם החברות הבינלאומיות על הקניין הרוחני הישראלי, נוצר תמריץ להתייעלות. בו בזמן, ברור שיש גם חשיבות לשמירה על התעשייה הישראלית. יש צורך באיזון".

"למעשה, השאלה היא אם מצפים שישראל תהיה יצואנית מוצרים, או יצואנית של ידע", אומר גזית, "בשנים האחרונות ישראל הפכה בכלל ליצרנית מוצרים. השינוי הזה קרה בצורה מאוד ברורה, ואנחנו לא נותנים עליו את הדעת מספיק. בתחום החקלאות אפשר לראות זאת בבירור: במשך שנים ישראל הייתה יצואנית מוצרים - תפוזי ג'אפה, אבוקדו. היום, במקום הערך המוסף, ישראל היא יצואנית אגרי-טק - היא מייצאת זרעים, שהם למעשה קניין רוחני. כשעושים חשבון כלכלי ברמה של מדינה, ולא של יצרן - יצוא זרעים הוא אפקטיבי יותר מיצוא מוצרים. מאידך, אנחנו מייצאים לא מעט מים, שזה מצדד שלא נמצא אצלנו בשפע. אני רוצה לתמוך גם בתעשייה וגם בחקלאות הישראלית, ולכן היישום הנכון הוא שילוב של יצוא מוצרים וידע. זו לא רק שורה תחונה כלכלית, כשיש תעשייה

◀◀◀ "מעבר של מידע בין אקדמיה ותעשייה הוא בעיניי אחד הרברים החשובים ביותר לכלכלה בכלל,

ולכלכלת ישראל בפרט, כי היא מאוד מבוססת על ידע", כך אומר פרופ' אהוד גזית, המדען הראשי של משרד המדע והטכנולוגיה.

בכנס "רבית-חומיות ובינת-חומיות כמנוף לפיתוח בתעשייה ובאקדמיה", שערכה מכללת אורט בראודה, דיבר גזית על האקדמיה כמקור חדשנות לעולם העסקי, שהוא, לדבריו, המפתח לשגשוגה של ישראל בכלכלה הגלובלית של המאה ה-21.

גזית (46), מדען עטור פרסים בתחום הננוטכנולוגיה, כיהן לפני מינויו לתפקיד המדען הראשי כסגן נשיא למחקר ופיתוח באוניברסיטת תל אביב, וכיו"ר רמות - חברת המסחר של האוניברסיטה.

"כבר שנים רבות, וגם כיום, האקדמיה הישראלית היא מקור לקמה מדעית וטכנולוגית", אומר גזית, "התפקיד של האקדמיה הוא גם לייצר ידע, וגם להנחיל אותו. חלק מהאנשים לא מבינים שבאוניברסיטאות לא רק מלמדים את התלמידים, אלא גם עוסקים במחקר, ושהשילוב הזה הוא חשוב".

לדברי גזית, העברת ידע היא למעשה העברת טכנולוגיה מהאקדמיה לעולם העסקי. "הרוגמה היפה ביותר היא תרופת הקופקסון לטיפול בטרשת נפוצה, שפותחה במכון ויצמן, ומאו ועד 2012 הכניסה לכלכלה הישראלית למעלה מ-20 מיליארד דולר. גם עגבניות שרי והתקני זיכרון הם תוצאה של מקרים כאלה".

גזית מציין שיש לייעל את תהליך המעבר הזה, שכיום "אינו מושלם", וכי לממשלה יש תפקיד בכך. "כשרעיון שנוצר במוסד להשכלה גבוהה, עובר לפיתוח ומסחר בחברה גדולה או מביא להקמה של חברת סטארט-אפ, יש תהליך ארוך מאחוריו שזקוק גם הוא להשקעה".

אתה רומז פה לתפקיד של חברות המסחר של האוניברסיטאות, שמסייעות להפוך את הפיתוחים במעבדות האוניברסיטה למוצרים מסחריים?

"חברות המסחר, שהן חברות פרטיות בבעלות מלאה של האוניברסיטאות, הן יצור מעניין בפני עצמו. מדובר על מוסד ללא מטרת רווח, שמחזיק בחברות פרטיות, שמטרתן להשיג כספים לבעליהן".

"בעבר הייתי יו"ר חברת מסחר, או אני מכיר את שני העולמות",

גבוהה היא שלאקדמיה הישראלית יש ביצועים די טובים. למעשה, האקדמיה הישראלית היא היעילה ביותר בעולם ביחס בין כמות ההשקעה לתוצרים המדידים - מאמרים, ציטוטים, פטנטים. ברור שאם היו משקיעים יותר, היינו יכולים להיות אפילו המובילים בעולם. "הפספוס הוא שיש שורה של מחקרים שמראים באופן ברור את הקשר בין השקעה בעולם האקדמי להתפתחות כלכלית ותעשייתית", הוא מוסיף, "ראש הממשלה דיבר פעמים רבות על כך שבישראל יכול להיות תל"ג לנפש מהגבוהים בעולם. אני מסכים עם הטענה הזו, ולדעתי המפתח הוא השקעה באקדמיה".

במסגרת המזמנה להקטין את מספר השרים בממשלה, עלו טענות

לא רק המדענים והמהנדסים נהנים, אלא גם נותני השירותים. זה נושא מאוד מורכב, ואין לי פה דעה נחרצת לכאן או לכאן".

"לקח 20 שנה, אבל הקופקסון הצליח להשיג תשואה טובה"

בריאיזון שנערך עמו ב"גלובס" לפני ארבע שנים, הצהיר גזית - אז בתפקידו כיו"ר חברת המסחור רמות, של אוניברסיטת תל אביב - כי היעד שלו הוא להביא את רמות למקום הראשון בהכנסות, מבין כל חברות המסחור בישראל, בתוך חמש שנים. בכך ביקש גזית לעקוף את החברות המצליחות של מכון ויצמן והאוניברסיטה העברית. "אני מודע לכך שרמות היא היום הקטנה מבין חברות המסחור. יש לנו פער של כ-25 שנה להשלים, ואנחנו פשוט נשתדל יותר. אני מקווה שאוכל ליישם זאת. חמש שנים זה נצח בטכנולוגיה", אמר אז.

כיום, אבע שנים אחרי ובתפקיד אחר, את הושב שהפער הצטמצם?

"אני בהחלט חושב שכן. זו חברה פרטית והיא לא חושפת פרטים, אבל לרמות היה הסכם מסחור מאוד משמעותי עם חברת סנדיסק, ועוד הסכמים עם חברות אחרות. אני אמנם כבר לא בתפקיד בחברה, אבל בתקופתי ההכנסות וכמות ההסכמים עלו משמעותית. עם זאת, צריך לזכור שמסחור קניין רוחני זה ריצה למרחקים ארוכים. הדוגמה הטובה ביותר היא תרופת הקופקסון - יותר מ-20 שנה נדרשו לה להגיע מהמעבדה של הפרופסורים מיכאל סלע ורות ארנון, ועד למכירות בשנות ה-90 על ידי טבע. זה לוקח הרבה זמן, אבל התשואה טובה".

בהקשר זה מציע גזית אנלוגיה מתחום החקלאות: "כשארם נוטע מטע, זה לכאורה לא רווחי, כי יעברו כמה שנים עד שיתקבלו פירות, וגם צריך כמות שמצדיקה את ההשקעה הראשונית. אבל אנשים בכל זאת משקיעים לטווח הארוך".

כמו שמגיע מעולם האקדמיה, מה דעתך על הטענות שלפיהן החינוך מידרדר, ויש אף מי שטוען שבעתיד לא נראה זוכים ישראלים רבים בפרס נובל מהסיבה הזו.

"אני חושב שאנחנו עדיין נמצאים במקום טוב מאוד, ובהשוואה למדינות בנצ'מרק דומות מבחינת גודל וגודל כלכלי - כמו דנמרק, אירלנד ופינלנד - אנחנו במצב טוב, וימשיכו להיות הישגים ופרסים. עם זאת, אני מאמין שאנחנו אמורים להיות במקום טוב יותר. על רקע הלחצים התקציביים, הסיבה שהמדינה יכולה להשקיע פחות בהשכלה

גזית: "הפספוס הוא שיש שורה של מחקרים שמראים באופן ברור את הקשר בין השקעה בעולם האקדמי להתפתחות כלכלית ותעשייתית. ראש הממשלה דיבר פעמים רבות על כך שבישראל יכול להיות תל"ג לנפש מהגבוהים בעולם. אני מסכים עם הטענה הזו, ולדעתי המפתח הוא השקעה באקדמיה"

שאחד המשרדים שצריך לבטלם ולצרפם למשרד אחר הוא משרד המדע והטכנולוגיה, שאתה משמש כמזכ"ל הראשי בו.

"אני סבור שמשרד המדע והטכנולוגיה צריך להישאר כמיניסטרוני עצמאי. יש בו שורה של פונקציות שיהיה קשה לבצע במשרדים אחרים, ובהן טיפול בכלל המו"פ הממשלתי, קשרי מדע בינלאומיים, סוכנות החלל, מרכזי מו"פ אזורים מאצבע הגליל ועד קצה הערבה. מעבר לדברים האופרטיביים יש גם עניין סימבולי בקיום המשרד - מדינה כישראל לא יכולה להיות במצב שאין בה משרד מדע וטכנולוגיה כמו במדינות המתוקנות בעולם. אני מקווה שימצאו את הדרך הנכונה, למרות ההבנה שיש צורך לצמצם במספר השרים".

המשמרת הצעירה - להכשיר בוגרי אקדמיה לפעילות במגזר הציבורי

פרופ' אהוד גזית לא מסתפק בתפקידו הרשמיים, ומוציא זמן לבצע שורה של פעילויות ציבוריות שונות. אחת הפעילויות שלו היא במסגרת תכנית ממשק. התכנית, מיסודה של האגודה הישראלית לאקולוגיה ולמדעי הסביבה, שואפת לגבש מנהיגות צעירה של בוגרי אקדמיה, ולהכשירם לפעילות במגזר הציבורי. זאת, במטרה לשפר את תהליכי קבלת ההחלטות ולקדם את הרושח בין הקהילה המדעית וקובעי המדיניות הציבורית. יו"ר התכנית הוא אריאב, שהיה בעבר מנכ"ל משרד האוצר, וגזית הוא אחד מחברי הוועד בה.

"זו תכנית שבה מכשירים אנשי מדע לשמש בתפקידים במשרדי הממשלה השונים", מסביר גזית. "אני שותף בה מתחילתה. היה לנו מחזור ראשון מאוד מוצלח, המחזור השני עושה עכשיו את צעדיו הראשונים, וההרשמה למחזור השלישי נפתחה. אני יכול לקחת קרדיט רק כמי שמסייע ונותן עצות. האגודה ומנהלי התכנית הצליחו לעשות פה שינוי. ככל שיהיו אנשים עם רקע מדעי יותר חזק במגזר הציבורי, כך נהיה במקום יותר טוב".

זה קשור לניסיונות למנוע בריחת מוחות?

"לא, אבל זה גם חשוב. רוב הישראלים בחו"ל היו רוצים לחזור. צריכים ליצור להם מקומות מתאימים באקדמיה, בתעשייה ובשירות ציבורי. הם לא בורחים מפה, פשוט לפעמים אין להם אופציה תעסוקתית ששווה לחזור עבורה. משרד התמ"ת עוסק בנושא ומשרד המדע שותף לו".



(צילום: איל יצהר)



ד"ר רפי סורגוביץקי

עולם פיתוח התרופות של מחר: העתיד כבר כאן

כיצד צפויים להשתנות פני התעשייה ככל שתהליך פיתוח התרופות הופך יותר ויותר רב-תחומי, ומהי התרומה האפשרית של ישראל לתרחיש זה

צילומים: ח'יטנס ובלומברג



תעשיית התרופות עוברת בשנים האחרונות תהפוכות ושינויים משמעותיים המצריכים עדכונים במודל העסקי, שילוב קונספטים, דיסציפלינות חדשות וחשיבה רב-תחומית, על מנת להמשיך לשפר את הטיפול בחולה נוכח הסביבה הדינמית.

אחת התופעות הבולטות, הצוברת תאוצה, היא תפוגת פטנטים. בעולם המערבי הפטנטים מהווים תמריץ משמעותי למחקר ופיתוח, בזכות הבלעדיות בשוק, אשר לה זוכה החברה החדשנית כל עוד הפטנט בתוקף. בשנים האחרונות אנו עדים לעשרות פטנטים אשר תוקפם מגיע לקיצו. תרופות בולטות כדוגמת ליפיטור, ויאגרה ופלאביקס, מאבדות את הגנת הפטנט ובתוך זמן קצר מוחלפות בגרסאות גנריות, המיוצרות ע"י יצרנים שונים. בשלוש השנים האחרונות חברות הפארמה החדשניות איבדו מכירות שנתיות בסך של מעל 70 מיליארד דולר, עקב פקיעת פטנטים, אבדן שמשליך על יכולתן להשקיע במחקר ופיתוח של תרופות חדשות.

כמו כן, קיימת נסיקה משמעותית בעלויות פיתוח התרופות. בעוד בשנות ה-80 של המאה שעברה עלות פיתוח תרופה עמדה על כ-320 מיליון דולר, כיום עומדת העלות הממוצעת על כ-1.2 מיליארד דולר (1). במקביל נצפית ירידה בכמות האישורים הניתנים, ע"י הרשויות הרגולטוריות, לתרופות חדשניות ופורצות דרך; חלו שינויים ברפואי ההתנהלות של רשויות רגולטוריות, שבמרכזם דרישה ליותר מידע על בטיחות ויעילות תרופות חדשות, שמשמעותה מחקרים קליניים גדולים, ארוכים ויקרים יותר; הדרישה למידע מקיף על עלות/תועלת של טיפולים חדשים, לצורך הכללה בסל השירותים, גוברת עקב העלייה המתמדת בהוצאה הלאומית לבריאות בעולם המערבי.

כיום, במצבים רפואיים נפוצים רבים (כדוגמת סכרת ויתר לחץ דם) קיימים טיפולים רשומים יעילים, ולפיכך יש צורך בהצגת יתרון משמעותי על פניהם בעת פיתוח תרופה חדשה. בעוד רוב התרופות שפותחו במאה ה-20 היו מולקולות כימיות קטנות, הרי המאה ה-21 מתאפיינת בבירורפואה, וחלק גדול מהמוצרים בפיתוח הם ביולוגיים (נוגדנים וחלבונים אחרים). אמנם פיתוח תרופות אלו לרוב יקר יותר, התהליך הרגולטורי מורכב יותר, ואוכלוסיית החולים קטנה יותר, אולם פיתוח ואישור תרופות גנריות לתרופות ביולוגיות מורכב בהרבה.

מגמה נוספת המסתמנת היא הקונסולידציה בשוק התרופות. מצד אחד ניתן לראות מיוזגים בין חברות ענק (כדוגמת Pfizer/ חברות בתחומים ספציפיים (כדוגמת Wyeth; Merck/Schering Plough BMS/Astrazeneca; Lilly/Boehringer Ingelheim), על מנת להעלות פרודוקטיביות ולחסוך במשאבים, ומהצד האחר רואים רכישות של חברות ביוטק/מכשור רפואי קטנות ובינוניות ע"י ענקי הפארמה. אי אפשר להבין את המתרחש ללא בחינה מקרוב את מתודולוגיית

והביוטק נמצאת מעט מאחור. אמנם אנו ביני המובילים בעולם במספרי הפטנטים, הפרסומים, כמות חברות הסטרט'אפ והשקעה במחקר ופיתוח (ובמבט היסטורי יצאו ממדינת ישראל מספר תרופות המהוות פריצת דרך מדעית), אך קשה להתעלם מהעובדה שביחס לרמת החדשנות הגבוהה והיכולות המדעיות במרשימות באוניברסיטאות, כמות המוצרים העושים את דרכם לשלבי פיתוח מתקדמים מועטה יחסית; לעומת כמות הסטרטאפים הרבה, כמות החברות הבוגרות מצומצמת.

יש המכנים מצב זה "כשל שוק" הנוגע ל-Translational Medicine, התחום שעוסק בתרגום ממצאי המעבדה למחקרים בבני אדם. באחרונה הושקו מספר יוזמות ברוכות של המדען הראשי, שנועדו לטפל בנושא - וביניהן מכרו, המתנהל כעת, להקמת חממה ביוטכנולוגית במטרה חברות פארמה הרב-לאומיות להקים מרכז פיתוח בארץ. יוזמה זאת היא בעלת חשיבות עליונה, שכן הידע הנדיר הקיים בתוך חברות אלו הוא החוליה החסרה כדי לממש את הפוטנציאל האדיר הגלום בתעשיית הביוטק בארץ. לסיכום, תעשיית הפארמה נמצאת כיום בתהליך שינוי מתמיד, עקב התרחשויות רגולטוריות, מדעיות ועסקיות. בעתיד הלא רחוק צפויים פני התעשייה להשתנות למדי כאשר תהליך פיתוח התרופות יהפוך יותר ויותר רב-תחומי ויצריך עבודת צוות עם מהנדסים, פיסיקאים ומתכנתים כדי להגיע למוצר הנכון בזמן הנכון. רבים מהטיפולים החדשים צפויים להיות מותאמים אישית - עידן ה-Personalized Medicine. בתוך סביבה זאת לחדשנות הישראלית יש פוטנציאל רב לפרוץ קדימה ולהפוך לקטר הבא של המשק, בתנאים הנכונים. ■

הכותב הוא המנהל הרפואי של חברת התרופות אלי לילי ישראל, בוגר לימודי רפואה ולימודי מינהל עסקים באוניברסיטת ת"א והתמחה בתחום פיתוח התרופות באוניברסיטת באזל בשווייץ

הפיתוח של התרופות: בעוד משך שנים רבות תהליך פיתוח התרופות החל במחקרי מעבדה, מחקרים בחיות, ולאחריהם שלבים ברורים של מחקרים בבני אדם, אשר הותוו ע"י הניסיון והרגולציה, הרי בשנים האחרונות, עם התקדמות המדע והשת"פ הבינתחומי, ניכרים שינויים רבים בתהליך, תוך שימוש במתודולוגיות רב-תחומיות, למשל השימוש בכלי ביואינפורמטיקה לתכנון ממוחשב של המטרות והתרופות. דוגמה נוספת היא השימוש בכלים מתמטיים ומתודולוגיות סטטיסטיות, כדוגמת מודלינג וסימולציות במהלך המחקרים הקליניים ההתחלתיים, לאיתור תת-אוכלוסיות, מיוזגים ואופן מתן תרופות - המשפיעים על יעילות התרופות (מידע אשר בעבר היה מתקבל רק לאחר שנים של מחקרים או שימוש קליני).

רבות מהתרופות, המפותחות כיום, מלוות בביומקרים וסמנים גנטיים ליעילות ובטיחות התרופה, ועל ידי כך מובילים ליצירת טיפולים מותאמים אישית/מוכווני מטרה. זאת בניגוד לעידן הקודם, אשר אופיין בתרופות המותאמות לאוכלוסיות חולים רחבות. שינויים נוספים הם שילוב תרופות עם מכשור רפואי, המצריך שיתוף פעולה עם מהנדסים, פיסיקאים ומתכנתים בנוסף לאנשי מדעי החיים (כדוגמת סטנטיס משחררי תרופה, משאבות אינסולין), ושיתוף הרגולטור בשלבים מוקדמים של פיתוח התרופה לשם קבלת הכוונה ומשוב תמידי.

בניגוד למתודולוגיה הקלאסית, כיום תכנון אסטרטגיית גישה לשוק - Market Access Reimbursement - מתבצע כבר בשלבים המוקדמים במחזור חי התרופה.

מה קורה בזווית המקומית?

רבות נאמר על החדשנות והייחודיות של תעשיות עתירות הידע באומת הסטרט'אפ. בעוד תעשיית ההייטק והמכשור הרפואי ידועות בעולם עם סיפורי הצלחה רבים, תעשיית התרופות



צבי שלוגו

המפתח להצלחת מוצרים טכנולוגיים בסין

עד כמה בין-תחומיות נחוצה בשוק יעד כמו סין, ועל חשיבות שילוב הידע המקומי כבר בשלב הפיתוח

מהלך כזה ייעל גם את תהליך החדירה המתוכנן לשוק הסיני, מאחר שיצטבר באמצעותו ידע רב גם בתחום הניהולי, התפעולי והשיווקי. למשל בנושאי שירות ולוקליזציה של מערכות, הבנת מתודולוגיות ותהליכי רישוי ופיתוח אצל לקוחות, וליווי צמוד של ועדות בנושאי תקינה, שהחלטות בהן יוצרות הזדמנויות חדשות או סוגרות אפיקי התפתחות. ידע זה יסייע לחברות להתכונן להחריה מבחינה אסטרטגית, אם אכן ייושם באופן בין-תחומי בתוך הארגון. חברות רבות זקוקות היום לנוכחות קבועה בסין כדי להשיג מטרות אסטרטגיות ארוכות-טווח בשוקי אסיה. בימים אלה אנו מקימים, בשיתוף עם חברת מטריקס גלובל, מרכז ביקורת תכנה ופיתוח בסין. שלושה מרכזי מו"פ נוספים של חברות ישראליות בתחומי שירותי טלפוניה, רובוטיקה ותקשורת לוויינית, נמצאים כרגע בשלבי תכנון.

על אף הנטייה הטבעית לצמצם חשיפה בשלב הפיתוח, והחשש המובן של חברות ישראליות משילוב צוות סיני בתהליך, יש לקחת בחשבון את העובדה שלממשלה הסינית משאבים אדירים המופנים לפיתוח טכנולוגיות, והיא מעוניינת לקדם מרכזי פיתוח על אדמת סין כחלק מתפיסה מקרו-כלכלית, שפיתוח כזה יוביל להאצת הכלכלה הסינית. זו הסיבה לכך שאנו מצליחים היום להקים מרכזי פיתוח בשליטה ישראלית מלאה, וללא שותפויות מקומיות כלשהן, ועדיין לגייס השקעות משמעותיות מהצד הסיני.

הקמת מרכזי פיתוח, תפעול ואף ייצור מחוץ לישראל עדיין נראית לרבים כצעד המזיק לכלכלה הישראלית, אך האמת הפוכה. חברה ישראלית שתתעלם מהיתרונות העסקיים ומהידע המקומי באזורים אחרים של העולם, תפסיד יכולות ותשתיות הדרושות להצלחת מכירותיה בעולם, ובעיקר – תפסיד בכושר התחרות שלה.

שילוב הידע בין התחומים השונים המעורבים בחיי המוצר, הוא המפתח להצלחה מסחרית, אך היכולות הנדרשות ליצירת הצלחה של מוצר טכנולוגי פזורות כיום על פני הגלובוס. לכן טוב נעשה אם נתמוך בתהליכים גלובליים אלו ללא היסוס, ונפתח יכולות שיתוף בידע המצטבר בין הגורמים השונים בחיי המוצר – החל משלב הפיתוח, הן בארץ והן בשוק היעד. ■

הכותב הוא מנכ"ל PTL Group ויו"ר לשכת המפחר הישראלית בשנחאי



(צילום: רוטרוס)

פעילות מסחרית, ביסוס החברה והפיכתה לרווחית. יותר ויותר חברות טכנולוגיות צעירות מגיעות לשלב ההתרחבות ומסחר המוצרים כשהן חלשות מבחינה פיננסית. קיצור תהליכים והתאמת המוצר לדרישת הלקוח הסופי מוקדם ככל שניתן, יתרמו ליכולת ההישרדות הפיננסית של החברות, תוך שיפור חשיפתן לשווקים נוספים.

ככל שהתעשייה הופכת לגלובלית יותר, וזמני התגובה שלה הולכים ומתקצרים, כך מתקצר גם מחזור חייו של המוצר. בתנאים אלו, ההתחשבות בתנאי שוק היעד העיקריים כבר בתהליך הפיתוח הופכת למשמעותית ביותר. כפי שלמדנו על בשרנו, מוצר שנראה מוכן ומוגמר בישראל, לא בהכרח מוכן לשיווק בשוק הסיני.

כאן נדרשת ראייה בין-תחומית בתוך הארגון: חברה ישראלית המחזיקה מספר מהנדסים העוסקים בהטמעה טכנולוגית של המוצר בסין, במקביל לצוות הפיתוח בארץ, תוכל להשיג הבנה מעמיקה יותר של צורכי השוק ואפיון קפדני של התנאים והמגבלות, וליצור התאמה מרבית לצורכי הלקוח הסיני כבר בשלבי הפיתוח.

בין-תחומיות נדרשת לא רק בין תחומים מדעיים, אלא גם בין הדיסציפלינות השונות המעורבות במחזור חייו של מוצר טכנולוגי – פיתוח, ייצור, שיווק, מכירה. לכל אחת מהדיסציפלינות יש השפעה על המוצר הסופי ועל הצלחתו המסחרית. כשמדובר בשוק יעד כמו סין, שהוא בעל מאפיינים תרבותיים, אדמיניסטרטיביים, רגולטיביים ולוגיסטיים ייחודיים, יש חשיבות מכרעת לתהליכי עבודה בין-תחומיים בתוך הארגון, החל משלב הפיתוח. זאת משום שהאתגר הגדול של תהליך הפיתוח הטכנולוגי בתעשייה, הוא השגת היכולת לסמן חדשנות שתיצור ערך כלכלי וחברתי ברור במקום שבו נמכר המוצר הסופי.

כבר שנים רבות שאנו עוסקים בפיתוח שוק של חברות טכנולוגיות ישראליות בסין. בתחילת הדרך אנו נוהגים לשאול שאלה בסיסית – "מהו היתרון התחרותי של המוצר בשוק הסיני?". על פי רוב התשובה שאנו מקבלים מהחברות מורכבת מתיאור מפורט של תכונות טכנולוגיות ושל יתרונות המוצר מול מוצרים מתחרים, אך אין די בכך. בשל מאפייניו הייחודיים של השוק המקומי, חשוב להבין את התמהיל השיווקי במלואו, על היבטיו הלוגיסטיים, מחירו, גודלו, צורת אריזתו, מיתוגו ועוד. מניסיוננו, לחשיבה בין-תחומית, המתבטאת בתהליכי שיתוף מידע והיוון חוזר בין המחלקות השונות בארגון כבר בשלב הפיתוח, יש משקל עצום ביכולת הפריצה של מוצר חדש לשוק היעד.

הטכנולוגיה הישראלית קנתה לה מעמד של כבוד בשוק התעשייתי בסין. עם זאת, אין זו הטכנולוגיה שמובילה את התעשייה, אלא דווקא השוק. כלומר, אם מתעורר צורך בשוק, יהיה כבר מי שיזהה זאת ויציע מוצר מתאים. מוצרים חדשניים ופורצי דרך הם בדרך כלל תוצאה של זיהוי הצורך והצלחה לאפיינו במושגים טכנולוגיים. הרי רק אז נוצרת ההצדקה להשקיע בפיתוח ובייצור. כך עשתה אפל בפיתוח האייפון, כשאפיינה את צורכי השוק וזיהתה את הפוטנציאל השיווקי של הסמארטפון לפני כולם.

Think Global Act Local

במשק של היום, שבו שווי שוק ממוצע של חברות כשנתיים אחרי הנפקה נחתך ב-30%, רבות מדי הן החברות השואפות להימכר מוקדם, ומוותרות על השלב האתגרי והיקר של הרחבת

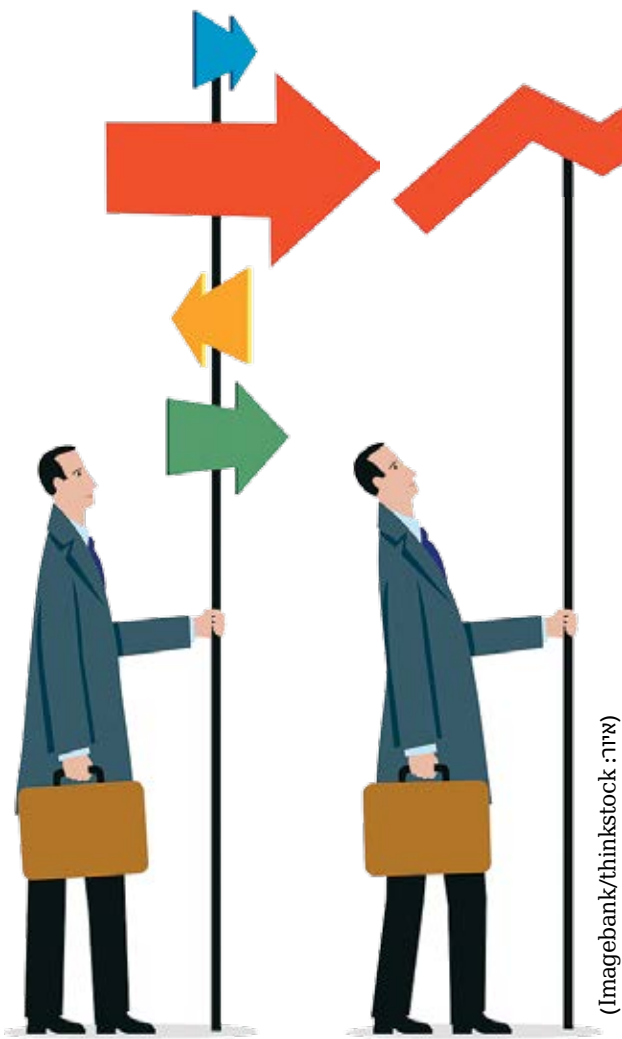
כשחושבים על תואר שני
בביוטכנולוגיה
חושבים אורט בראודה

תואר "מוסמך במדעים" (M.Sc.) בביוטכנולוגיה כולל את הידע והפיתוחים העדכניים ביותר בתחום ומתמקדת בפיתוח מוצרים בתעשייה הביוטכנולוגית ובמחקר וניסויים קליניים.

אורט בראודה | המכללה האקדמית להנדסה
braude.ac.il | *9099

השווקים "חולים" ויקרסו כמו מוח של חולי אפליפסיה

הפיזיקאי פרופ' אשל בן־יעקב, מתמחה בתחום האקונופיזיקה, משתמש בכלים לוגיים לניתוח שוק המניות בארה"ב • מחקר שצוותו פרסם מזהיר: כבר יותר מעשור שהשוק בוול סטריט לא יציב, וקרסה, כך נראה, היא רק עניין של זמן / גיא קצוביץ'



Imagebank/thinkstock (איור)



פרופ' אשל בן־יעקב

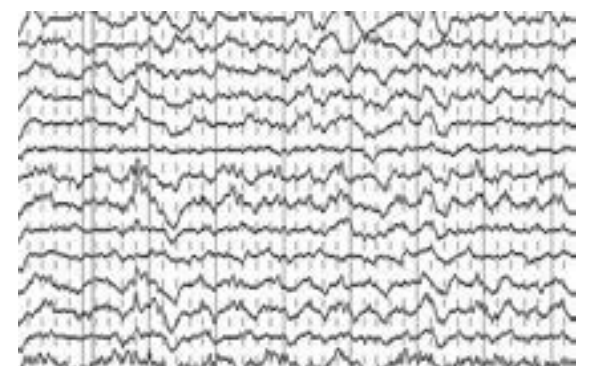
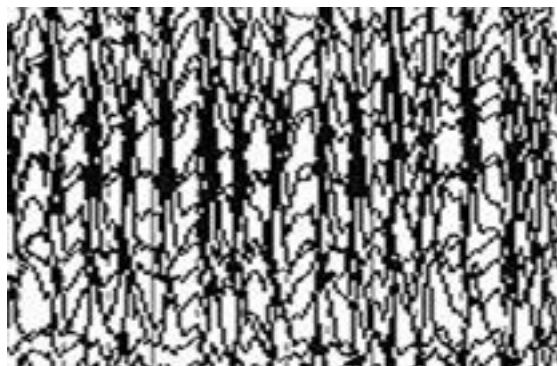
האם שוק המניות האמריקני מתנהג כמו מוחו של חולה אפילפסיה רגע לפני התקף? אם תשאלו את פרופ' אשל בן־יעקב מאוניברסיטת ת"א, התשובה לשאלה הזו היא חד משמעית – כן. לפי תוצאות מחקר שהוביל בן־יעקב ושהתפרסם בשנת 2011, חוסר היציבות של שוק ההון האמריקני מוכיח במובהק את חוסר היציבות שבמערכת הקשרים במוח של חולה אפילפסיה, אך מדאיג יותר. השוק נמצא במצב זה כבר מ־2002, ולא השתנה באופן מהותי מאז. בכך, מזהיר בן־יעקב, נטיית השוק לקרוס גדולה יותר – ורק "ניתוח" רציני יוכל למנוע את המשבר הבא.

חשוב לציין – למרות התיאוריה הנחרצת והמבהילה, בן־יעקב אינו כלכלן ולא עוסק על בסיס יומי במחקר השווקים. הוא פרופ' לפיזיקה מבית הספר לפיזיקה ואסטרונומיה באוניברסיטת תל אביב, ועיקר מחקריו עוסקים בכלל בפיזיקה ביולוגית, ובחקר התנהגויות וקשרים בתוך רשתות גדולות (של חיידקים, למשל). במחקרו השתמש בן־יעקב בכלים לוגיים, שמשמשים בדרך כלל לניתוח מערכות פיזיקליות, על מנת לנתח מערכות מורכבות גם בתחומים אחרים, דוגמת כלכלה בכלל, או שוק ההון האמריקני בפרט. צוותו של בן־יעקב – שכולל את ד"ר יואש שפירא, לשעבר ראש מחלקת מחקר בוועדה לאנרגיה אטומית, וכיום מדען אורח באוניברסיטת תל אביב; ד"ר גיתית גור־גרשנזון, שמכהנת כראש מחלקת המחקר ברשות ני"ע;

והרוקטורנט דרור קנט, כיום יועץ לרשות ניירות ערך – מתמחה בתחום זה, שנקרא "אקונופיזיקה". המחקר המדובר של הצוות מתבסס בעיקר על "תורת הרשתות" (או בשמה השני – תופעת העולם הקטן, שלפיה כל אדם יכול ליצור קשר עם כל אדם אחר בעולם, דרך מספר קטן של מתווכים). התיאוריה משמשת לבחינה של מרכזיות ועוצמת הקשרים שבתוך מערכת שוק ההון האמריקני, על מנת להגדיר באמצעות קשרים אלה את יציבות השוק, או למעשה את אי־יציבותו ואת נטייתו לקרוס.

הדיאגנוזה של האקדמיה: השוק "חולה"

במסגרת המחקר בחן הצוות של בן־יעקב את התנהגות מדד ה־500 S&P בעשור האחרון (המדד הנצפה ביותר בוול סטריט, אחרי מדד הראו ג'ונס). המחקר נעשה על בסיס מתודולוגיות, שבמקור משמשות לניתוח פעילות מוחם של חולי אפילפסיה. הצוות בחן את הקשרים שבין התנהגות מניות שונות במדד (מניות מאותו מגזר, למשל, נוטות להתנהג באופן דומה), ואת הקשרים שבין כל אחת מהמניות למדד. לאחר מכן ניכח הצוות את השפעת התנהגות המדד על הקשרים בין המניות עצמן, כדי להיוותר רק עם הקשרים המשניים הקיימים בשוק – כלומר הקשרים של המניות בינן לבין עצמן.



ההבדל בין פעילות במוח "רגיל" (ימין) לפעילות במוח של חולה אפילפסיה בזמן התקף (שמאל)

המסקנה של הצוות הייתה חד־משמעית: מאז סוף שנת 2001 חלה ירידה משמעותית בכמות הקשרים המשניים בשוק האמריקני, ופחות מניות "מתנהגות" באופן עצמאי או מגיבות לאירועים בקבוצות קטנות. התנהגותן של המניות במדד מושפעת כמעט אך ורק מה"סנטימנט" הכללי בשוק, כלומר מהתנהגות מדד ה־500 S&P עצמו. במילים אחרות, כשה־500 S&P עולה, כמעט כל המניות עולות; כשהוא יורד, כך גם שאר המניות.

"המצב שבו בשוק האמריקני יש ירידה משמעותית בכמות הקשרים המשניים מאז 2001, הוא המצב הכי פחות יציב מבחינה פיזיקלית במערכות שאנו בורקים", מדגיש ד"ר שפירא מצוות המחקר של בן־יעקב, "אם יש מערכת עם מעט קשרים משניים, זה הופך אותה למאוד רגישה – זה לב המחקר שלנו".

אבל איך כל זה קשור לאפילפסיה?

שפירא: "כשמבטים על התנהגות של מוח 'נורמלי', ניתן לראות במערכת הרבה קשרים רגילים, מרכזיים, וגם לא מעט קשרים משניים. התופעה הבסיסית הזו, שבה נעלמים הקשרים המשניים ונשאר רק קשר אחד גדול, זה בדיוק מה שקורה בהתקף אפילפטי. זה מה שתראה אם תברוק את גלי המוח של חולה אפילפסיה בזמן התקף – רגע לפני המערכת מבוזרת, אבל לקראת ההתקף ובמהלכו, כמות הקשרים המשניים יורדת דרמטית".

דברים אלה נשמעים חמורים, אולם אם השוק כבר נמצא

ומכך שההתאוששות בכלכלה העולמית היא פיקטיבית בלבד. בינתיים ממשלות, מומחים פיננסיים וגם האזרחים ה"פשוטים", מודאגים מכך שהדוקטרינות הכלכליות המסורתיות נכשלו בהתרעה על המשבר של 2008-2009. אז נכון, יש אינדיקטורים רבים שמעידים על התאוששות הכלכלה, ועל כך שהבנקים המרכזיים והרגולטורים "השתלטו" על המצב. אולם, ישנם גם לא מעט קולות שמזהירים מפני אייזיבויות המערכת, וממשבר נוסף שקרב ובא. המחקר של בן יעקב תומך לכאורה באופציה השנייה, שכן הוא הצביע על כמה גורמים שהובילו לירידה דרמטית במספר הקשרים המשניים בשוק, מה שמגביר את הסיכון למשבר נוסף. בין הגורמים הללו נמצאים דומיננטיות הסקטור הפיננסי, שקיבל סיוע משמעותית במשברים האחרונים, וירידת הריבית המרכזית בארה"ב לרמה אפסית, במטרה להזיל את האשראי בשווקים.

ד"ר שפירא: "למשל, לעישון יש שתי השפעות מרכזיות - הוא גורם לסרטן ולשיניים צהובות. אז יש שיאמרו שיש קורלציה בין שיניים צהובות לסרטן. בפועל צריך לבחון את ההתאמה בין סרטן לשיניים צהובות לא כפועל יוצא של השפעת העישון, אלא בניכוי - איתלות אמיתית בין פרמטרים, שאינטואיטיבית נדמה שתלויים זה בזה"

"המסקנה מהמחקר ברורה - היחס בין הקשרים המשניים לקשרים הרגילים בשוק האמריקני ירד בצורה דרמטית", אומר שפירא, "אנחנו כבר יודעים שמערכות כלליות עם מיעוט קשרים משניים הן פחות יציבות".

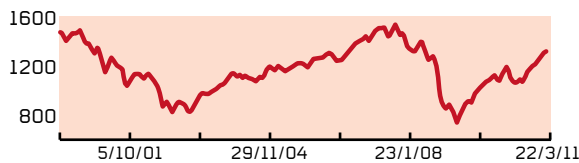
מנגד, סבור שפירא כי כדי להשליך את המסקנות על השווקים הפיננסיים באופן גורף, נדרשת בדיקה נוספת. "המחקר נכון ועומד בפני עצמו", הוא מוסיף, "אבל כדי להוכיח טענה אקדמית-מחקרית, צריך להציג עבודה עוד מסקנות אמיתיות. כדי להגיד באופן דרמטי-משמעי שהמסקנות במחקר קובעות שהשוק האמריקני רגיש, אנחנו צריכים לבצע את הבדיקה על שוק אחר, ולהראות שהטענה נכונה באופן סיסטמטי". הוא מדגיש, כי ההסתברות מהמחקר "היא עניין פרטי שלי".

בן יעקב, לעומת זאת, גילה יותר נחרצות בהתייחסו למסקנות. "אם מקבלים את התמונה שמצטיירת מהמחקר", הבהיר בראיון לאתר החדשות המדעי Sciencedaily אשתקד, "אז ברור שמובילי המדיניות בארה"ב אמנם מדברים על שינוי, אבל בפרקטיקה הם מבצעים רק שינויים קוסמטיים ונמנעים מניתוח יסודי וכואב, שלו השווקים זקוקים".

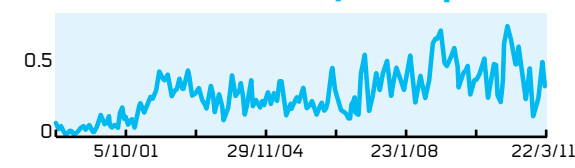
בהכנת הכתבה סייע ד"ר אופיר לוי, מנכ"ל חברת BioAssociate

מערכת שבה מעט קשרים היא פחות יציבה

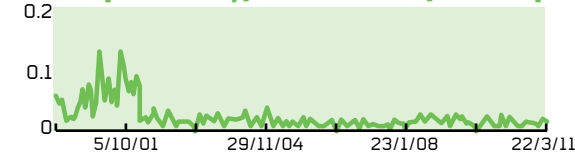
התנהגות מדד S&P 500



תמוצע הקשרים בין המדד למניות הנסחרות בו



הקשרים בין המניות לעצמן, בניכוי הקשר למדד



מניות, אפשר לברוק אם זהו קשר מהותי, או שמא הוא נובע מהקשר של כל אחת מהמניות למדד. אנו בודקים זאת על ידי חישוב הקשר החלקי, השיורי, לאחר ניכוי התלות של כל מניה במדד, מסביר הדוקטורנט קנט מצוות המחקר.

כך למשל, בדיקה שערך הצוות על מניות ה-S&P 500 בשנים 2003-2008, הראה שרוב הקשרים בין המניות במדד נבעו מהשיוך שלהן לסקטורים שונים. אולם, בניכוי הקשרים השיוריים נמצא, כי המניות החשובות והדומיננטיות במערכת הן מהסקטור הפיננסי - בנקים, בתי השקעות וחברות ביטוח. גילוי זה יכול להסביר, למשל, מדוע פשיטת הרגל של בית ההשקעות ליהמן ברדרס ב-2008 הובילה לקריסת המערכת כולה.

את הקושי באפיון הקשרים בתוך המערכת, ממחיש ד"ר שפירא כך: "בוא נאמר שלעישון יש שתי השפעות מרכזיות - הוא גורם לסרטן ומצד שני גם לשיניים צהובות. אז יש כאלה שיאמרו שיש קורלציה בין שיניים צהובות לסרטן, אולם בפועל זה ממש לא נכון. צריך לבחון את ההתאמה בין סרטן לשיניים צהובות, לא כפועל יוצא של השפעת העישון, אלא בניכוי ההשפעה שלה. זו הקורלציה השיורית - איתלות אמיתית בין פרמטרים, שאינטואיטיבית נדמה שתלויים זה בזה.

"כך גם בשוק המניות. אפשר לבחון שתי מניות, כמו מכתשים אגן ובנק לאומי, ולראות שהן מתנהגות דומה, עולות ויורדות ביחד", מדגים שפירא, "זה עדיין לא אומר שיש קורלציה ביניהן - יכול להיות ששתיהן פשוט מושפעות מהמדד. זה מה שעשינו במחקר שלנו".

לקראת הנפילה הגדולה?

האם אנחנו באמת לקראת קריסה? מאז המשבר הפיננסי הגדול של 2008 - שבו לנפילת השוק האמריקני הובילו מכשירים פיננסיים המכונים אג"ח מגובות-משכנתאות - ממשיכים כלכלנים ואנליסטים להזהיר מה"חולי" בשווקים,



ב"התקף אפילפטי", מדוע להיות מודאגים כל-כך? מי שחושב שניתן לשחרר אנתח רווחה לאור הממצאים, טועה. הגרוע מכול, לדברי שפירא, עלול עוד להיות לפנינו. אם הקבלת השוק האמריקני למוחו של חולה אפילפסיה נכונה, הוא מסביר, אזי ההתקף האפילפטי של השוק עוד לא קרה. "כמות הקשרים המשניים בשוק ירדה דרמטית, אך יותר נכון לומר שהיא מאפיינת מוח אפילפטי רגע לפני ההתקף, ולא במהלכו", הוא מדגיש, "ההתקף עוד לא קרה, וכל תנודה חדה במדד עלולה לגרום לתנודות חדות אף יותר, ובסופו של דבר - לקריסה".

פחות קשרים, פחות טוב

את המושג "אקונופיזיקה" טבע הפיזיקאי ג'ין סטנלי, והוא נועד לתאר את המחקרים המבוצעים על ידי פיזיקאים בתחום של כלכלה ושווקים פיננסיים. הרעיון הוא ליצור מחקר בין-תחומי, שמטרתו להבין ולפתור בעיות מעולם הכלכלה באמצעות כלים פיזיקליים. לעומת המחקר הכלכלי, שהוא תיאורטי יותר, תחום האקונופיזיקה הוא תחום מחקר אמפירי, ובחמש השנים האחרונות מתקיים מחקר פעיל בנושא באוניברסיטת ת"א, בהובלתו של בן יעקב. מחקרו מתמקד בעיקר בקשרים בין מניות כאמור.

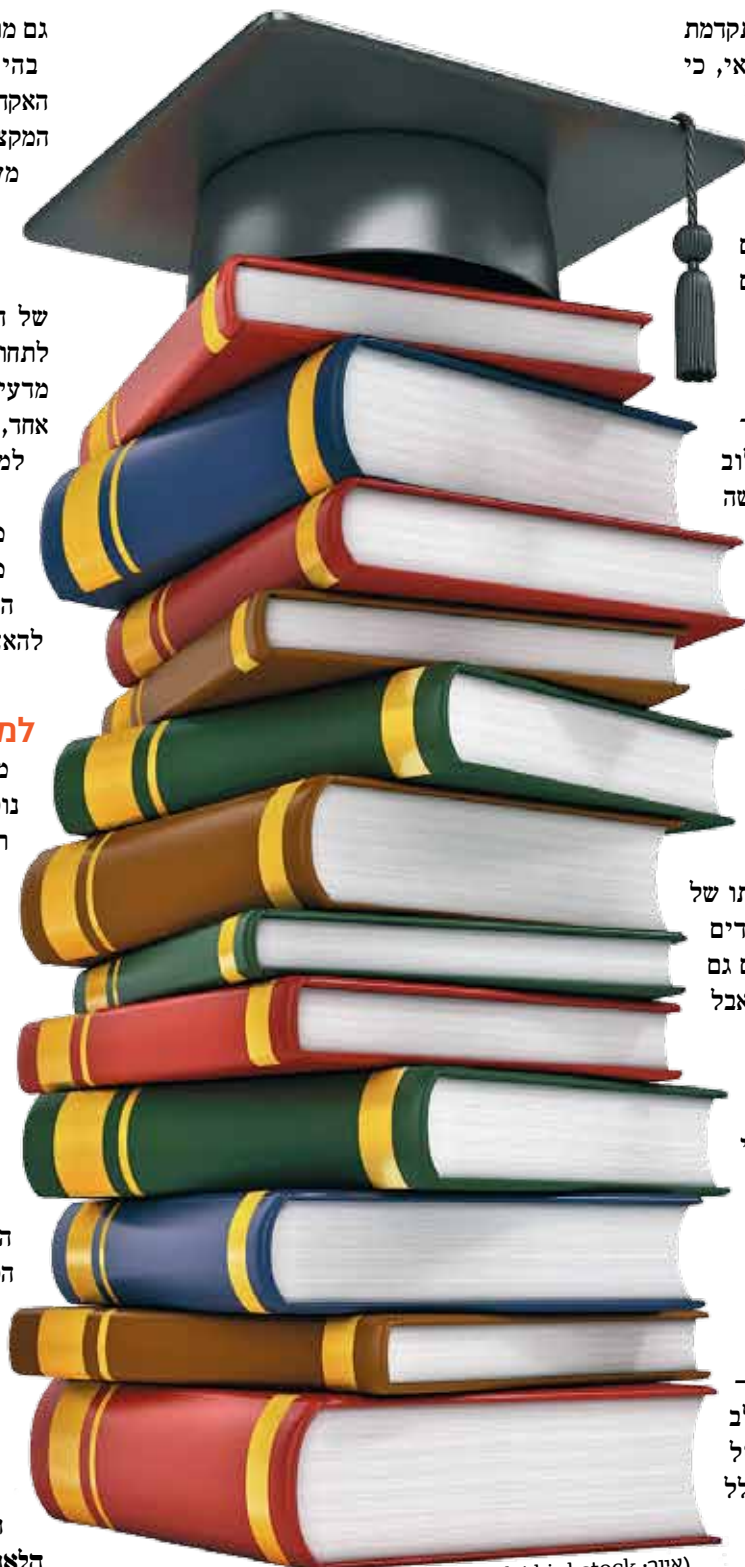
"הקושי האמיתי בניתוח של קשרים הוא לזהות אם מדובר בקשרים אמיתיים ומשמעותיים מבחינה כלכלית, או שמא מדובר בקשרים אקראיים. כאשר אנחנו מזהים קשרים בין שתי



חיים רוטו

האקדמיה והתעשייה מול אתגר הרב-תחומיות

כיצד מכשיר עולם הלימודים הגבוהים מהנדסים שיוכלו להתמודד עם תכנון רב-תחומי, והאם הוא מתמודד היטב גם עם דרישות המחקר העדכניות



מי שבוחן תהליכים ומגמות בתעשייה המתקדמת בעשורים האחרונים, ימצא קרוב לוודאי, כי

מוצרי התעשייה המתקדמים שבהם הופכים ליותר ויותר רב-תחומיים.

עד לפני כמה עשרות שנים עיקר המוצרים היו חד-תחומיים – מכניים, אופטיים, אלקטרוניים וכדומה. הנכון הוא שתמיד פותחו ויוצרו מוצרים מורכבים יותר (למשל כלי רכב), אך ניכר כי מוצרים אלו היו בעיקרם אוסף של תת-מרכיבים מתחומים שונים, שחברו יחדיו ליצירת מוצר.

במהלך העשורים האחרונים ניתן להבחין בעליית מדרגה במורכבותם של מוצרים. מוצרים אלקטרו אופטיים, מערכות רובוטיות ודומיהם אינם שילוב מרכיבים אופטיים, אלקטרוניים, מכניים, אלא למעשה מערכת אחת, שתוכננה בראייה אחידה, מתוך שיקולי תכנון ואופטימיזציה, שבחרו את נקודת העבודה מבחינת התחומים השונים.

מוצר כה נפוץ, כמו טלפון סלולרי, הוא תוצאה של תכן אחד, המביא בחשבון מרכיבים אופטיים, מכניים, אלקטרוניים, מרכיבי תכנה, מרכיבים של הנדסת אנוש ועוד. ה-Trade-Off המתמיד בין האלמנטים השונים, להשגת מוצר קומפקטי, קל משקל, רב-ביצועי ונוח להפעלה, הוא לב לבו של האתגר ההנדסי העומד מאחורי מהפכת התקשורת.

השינוי המהותי הזה באופי המוצרים מחייב התאמתו של כוח האדם והכשרתו ההנדסית. מבחינה זו אנו עדים לשני תהליכים סותרים, כביכול: ההתמחות, ובהתאם גם הכשרת המהנדסים, הופכת לממוקדת ועמוקה יותר, אבל גם צרה יותר.

בכל אחד מהתחומים ההנדסיים התפתחו תת-תחומים באופן שמקשה על מציאת מהנדס אלקטרוניקה השולט בתחומי אלקטרוניקה שונים, ותחת זאת נמצא כחצי תריסר תת-התמחויות. מגמה זו עומדת בניגוד להכרח למצוא מהנדסים בעלי כישורים רחבים, שיוכלו להתמודד עם הצורך בתכנון רב-תחומי.

הכשרה – כן, מחקר – לא מספיק

הפתרון לדילמה זו נמצא ברמות מקצוע חדש – מהנדס מערכת. הוא הגורם המתכלל-מתכנן, משלב בין הדיסציפלינות השונות ומאפשר לאוסף של מומחים שונים לפעול כצוות רב-תחומי. היכולת לתכלל תחומים שונים לצורך יצירת מוצר רב-תחומי הפכה למומחיות בפני עצמה. לא רק מומחיות נרכשת, אלא

גם מומחיות נלמדת.

בהיבט הזה יש לשבח את התגייסותה של המערכת האקדמית (אוניברסיטאות ומכללות), אשר הבינה את הצורך המקצועי ואת המשמעות ההנדסית של הנדסת מערכת. בלא מעט מוסדות הפך מקצוע זה למקצוע נלמד, ולאט לאט נבנה דור של מהנדסי מערכת, הנותן מענה לצורך ההנדסי הרב-תחומי.

יחד עם זאת, מגמה זו אינה מאפיינת את ההתמודדות של האקדמיה עם אתגר הרב-תחומיות, בכל מה שנוגע לתחומי המחקר. עדיין, רוב המחקר האקדמי, בין אם מסיבות מדעיות, בין אם מסיבות ארגוניות, ממוקד או נחקר בממד אחד, כך שאתגרי התעשייה ל"מדע" רב-תחומי אינם זוכים למענה מספק.

נכון, בשנים האחרונות החלו להתפתח באקדמיה מסגרות מחקר רב-תחומיות, אך אלו עדיין מעטות מדי, אשר אינן מאפיינות את הכלל, וגם פעילותן בתוך האקדמיה נתפסת כחריגה. תעשייה מתקדמת זקוקה להאצת המגמה באקדמיה.

למה לצפות בשנים הקרובות?

מסתמן שהתעשייה המתקדמת מתקרבת לקפיצת מדרגה נוספת. מוצרים ומערכות שיחייבו שילוב רב-תחומי, לא רק מתחומי ההנדסה, אלא שילוב של דיסציפלינות הנדסיות עם דיסציפלינות מתחום מדעי החיים. ניצנים לכך ניתן כבר לראות במעבדות הפיתוח.

התפתחות זו צופנת בתוכה הזדמנויות רבות, אולם היא לא תוכל לצמוח אם תהליך דומה לא יקרה בתוך האקדמיה.

השוני הרב בין תחומי ההתמחות והתרבות התעשייתית השונה יקשו על יצירת השפה המשותפת. שפה זו לא תתפתח בתעשייה. כאן נכנס תפקידה של האקדמיה – לבנות את המדע והמחקר המשלבים תחומים אלו, לבנות את הפקולטות והמחלקות, העוסקות במערכות המשלבות הנדסה ומדעי החיים, ולבנות את הפרופיל של המהנדס העתידי, המסוגל למצוא את השילוב המתאים.

הצורך החיוני הזה, והכמעט "אין ברירה", יהיו אולי המנוע לבניית קשר אקדמיה-תעשייה חזק יותר מכל מה שהכרנו. חיזוק קשר זה, כאשר ייווצר, יהווה זריקת עידוד לחדשנות פורצת דרך, ושני הצדדים ייצאו נשכרים. ■

הכותב הוא סגן הנשיא למצוינות הנדסית וטכנולוגית באלביט מערכות, וחבר המועצה הלאומית למחקר ולפיתוח

(איור: Imagebank/thinkstock)



רפי קוריאט

מנוע צמיחה אסטרטגי וכלכלי

רבותחומיות משמשת מכפיל כוח לישראל, שבה טבוע אצל כל אחד עמוק ב-DNA הכינוי "מדינת הסטארט-אפ"

תכניות המדען הראשי והאתגרים שבדרך

חלק לא מבוטל מהצלחה זאת נוקף לתמיכה הייחודית במסגרת התכניות של המדען הראשי במשרד התמ"ת. תכניות אלו מהוות פלטפורמה לתמיכה תעשייתית מחקרית רחבה ברמות תכניות דרלאומיות, תכנית קמין, נופר, מגנטון, והחשובה שבהן – תכנית מגנט"ט לשינופי פעולה רבת-חומיים ממוקדי מטרה. תכנית זו היא ספינת הדגל לשינופי פעולה רבת-חומיים בין תעשייה ואקדמיה. תכנית מגנט"ט משלבת חברות העוסקות בתחומי המטרה, עם חוקרים מובילים ממוסדות האקדמיה השונים, במסגרת מאגד לפיתוח טכנולוגיה גנרית לתקופה של 3-5 שנים, וממומנת במרביתה ע"י המדען הראשי. עיקר התכנית מושגת על התובנה, שהיתרון הכולל של המאגד גדול לאין ערוך מסכום מרכיביו. השילוב של יכולות רבת-חומיות, הן מהתעשייה והן מהאקדמיה, מאפשר הפריה הדדית בין השותפים למאגד, ותורם באופן משמעותי להתפתחות הטכנולוגית והכלכלית של מדינת ישראל. מודל דומה למסגרת מגנט"ט נוסה במדינות שונות בעולם, ולא זכה לאותה מידת הצלחה, והדבר נחקר מכיוונים שונים, במטרה לגלות את סוד ההצלחה של מדינת ישראל. בהקשר לכך חשוב לציין מספר מרכיבים חיוניים, שבוכותם תכניות שינופי פעולה רבת-חומיים, ובמיוחד אלה הכוללים שילוב תעשייה ואקדמיה, מצליחים בארץ יותר מאשר במדינות אחרות: ישראל, כמדינה עם אוכלוסייה רב-גונית, התורמת לחשיבה ולראייה מוזיות שונות, ניחנה ביכולות ייחודיות של חדשנות, פתיחות, ורצון לשילוב יכולות, אשר מפרה את היצירתיות. לכן תחומים מדעיים כגון ביוטכנולוגיה, ביורפואה וננוטכנולוגיה, שמטבעם הם רבת-חומיים, הם בעלי סיכויי הצלחה טובים ומשמעותיים בארץ לעומת מדינות אחרות, ומתאימים לנו ככפפה ליד. ריכוזיות האוכלוסייה על פני שטח קטן יחסית, מסלולי ההכשרה הדומים בארץ ובעיקר השירות הצבאי, תורמים לדפוס התנהגות דומים. כל אלה מחזקים את המכנה המשותף באוכלוסייה, ומסייעים לפתיחות שמגלים הישראלים זה כלפי זה.

אחד האתגרים שבפניהם נעמוד בעתיד, הוא בחירת תחומי מיקוד ומטרה. עם משאבים דלים ביחס לעולם לא נוכל לעמוד באותה רמת תחרותיות כפי שהייתה בעבר. בנוסף, מדינות כמו הודו וסין, המכשירות מדי שנה מאות אלפי חוקרים ומהנדסים, יקשו עוד על התחרות. לכן יש הכרה לקבוע תחומי מיקוד, הנשענים על היכולות הסגוליות והמוכחות של מדינת ישראל בעבר וכיום. בחירת תחומי המיקוד חייבת לקחת בחשבון את הפוטנציאל של שילובים רבת-חומיים כמכפיל כוח, שיעצים את היכולות הסגוליות של ישראל, ויביא להמשך מעמדנו התחרותי כשחקן משמעותי במפה העולמית. במקביל, על מוסדות ההשכלה והמחקר בארץ להתאים את עצמם על ידי יצירת אפשרות של הכשרה בנושאי לימוד רבת-חומיים, כחלק אינטגרלי ומשלים לתכניות הלימוד הקיימות. בכך הם יתרמו לחינוך ובניית כוח-אדם איכותי ומתאים לצורכיה העתידיים של מדינת ישראל. ■

הכותב הוא מנכ"ל קורל ביזנס, יום ותעשייה, ומומחה ביצירת שית"פ אסטרטגי רבת-חומי ואקדמיה-תעשייה



Imagebank/ (איור: thinkstock)

משמעותית את מרחב מעטפת היישומים האפשריים בעתיד. עם הזמן תלך ותגדל חשיבות הידע וההבנה הכוללת והמערכתית של תחומים משיקים ושילובם החכם להגדלת הערך המוסף והיתרון הכולל. ההתפתחות שתביא להישגיות ופריצת דרך מחייבת הישענות על כל אחת מהיכולות הסגוליות של מרכיבי השותפות, ושילובם הרבת-חומי החכם והמושכל.

הישג בלתי נתפס

בסבירות גבוהה נוכל למפות את מודל ההצלחה של התעשייה הישראלית בעתיד, אשר יושגת לא רק על כושר ההמצאותיות, אלא בעיקר על שילוב כוחות מושכל תעשיית ומחקרי רבת-חומי אשר יוביל למוצרים ופתרונות תחרותיים, אמנים ומותאמים לחלון ההזדמנויות העולמי. אתגר זה הוא מהחשובים והאסטרטגיים שיוצבו לפנינו כמדינה, בדומה ליתר הכלכלות החזקות בעולם.

מדינת ישראל הצליחה במהלך השנים "לייצר" את מודל המהנדסים והחוקרים מהטובים בעולם, שמהווה כיום מושא לקנאה. אם נבחן את האיכות המדעית על ידי מכלול הפרמטרים, כגון מספר ציטוטים בעיתונות המדעית, מאמרים בכתיבת עת מובילים, זכייה במענקי מחקר תחרותיים בינלאומיים, וזכייה בפרסים חשובים ובמיוחד בפרסי נובל – ישראל עומדת בשורה הראשונה בין המדינות המובילות בעולם, חרף התקציבים הצנועים המוקצבים למחקר. מבחינת איכות התעשייה, שורת המוצרים והפיתוחים הביטחוניים והאזרחיים המרשימים, ששמם יצא ברחבי העולם, היא הישג בלתי נתפס של מדינה כה קטנה עם פיתוחים כה משמעותיים, ששינו את פני הכלכלה והתעשייה העולמית, והיד עוד נטויה.

מדינת ישראל היא אחת המדינות המובילות טכנולוגית בעולם, ולעיתים קרובות מתייגת כמעצמה טכנולוגית, בזכות כושר היצירתיות, ההמצאותיות והחתימה לחדשנות. להצלחה זאת מספר גורמים מרכזיים, שעשויים לסייע בהבנת מפת הרכיבים להמשך ההצלחה בעתיד. בין הגורמים המשפיעים, המאבק הקיומי מול המרחב מסביבנו, ואחד החשובים שבהם הוא כוח ההיתוך שיצרה מדינת ישראל, שמיזגה לתוכה בשנותיה הראשונות, וגם לאחר מכן, אוסף תרבויות שונות ומגוונות שאין שני לו בעולם. שלושת מרכיבים אלה הם הבסיס והסיבה להצלחת החברה הישראלית בתחום הטכנולוגי-כלכלי, והתוצאה הכוללת עשויה להסביר את תופעת "מדינת הסטארט-אפ", שטבועה עמוק ב-DNA של כל אחד מאתנו בארץ.

החלוציות, בתנאי צנע בלתי נתפסים, יצרה את ה"אני מאמין" והכוח המניע לכך שהכל אפשרי, ועם התפתחות תעשיית הכלים ההקלאיים מצד אחד, וכלי מערכת הבטחון מצד שני, מוחגו יכולות אלו ליתרון עתידי וטכנולוגי רב עוצמה.

השילוב בין השניים היה תחילתו של תהליך התייעוש של מוצרים "כחול לבן" בארץ. עם תחילת עסקאות רכש ציוד ביטחוני מתקדם ע"י מדינת ישראל מהמדינות המובילות בעולם, החלה חשיפת המהנדסים והחוקרים בארץ לטכנולוגיות חדשנות. אלו הגבירו את הצמא לידע חדש והלאפשרות שילובו בכלים קיימים ובפיתוחים חדשים, ועל ידי כך הביאו להעשרה של התוצאה הכוללת. תחילת היישום הייתה בתעשייה הביטחונית, ולימים עבר והוטמע בתעשייה האזרחית. זוהי, למעשה, תחילתה של המהפכה הטכנולוגית בישראל, שהתפתחה מתוך השילוב החכם והאינטגרציה הרבת-חומית, ליצירת פתרון תחרותי מנצח.

השוואה בין רשימת מקצועות הלימוד באוניברסיטאות היום, לעומת זו שלפני עשור בלבד, מצביעה על גידול משמעותי במספר מקצועות הלימוד החדשים. הגדלת מספר תחומי ההתמקצעות השונים חשובה והכרחית, ותורמת ליצירת מוקדי מצוינות ומומחיות ספציפיים, המובילים לקדמה ולחדשנות רבת-חומית. תחומי הדעת החדשים, אם בתחום הביוטכנולוגיה, הביורפואה, הננוטכנולוגיה ואם אחרים, מטשטשים את ההפרדה המסורתית, שהייתה בין התחומים הנפרדים והברורים בעבר, ויוצרים רצף רבת-חומי מדע-טכנולוגי בעל מאפיינים משותפים, המאפשר מרחב מאתגר לשילוב ושיתוף פעולה רחב בין תחומים.

תהליך זה אמור להימשך ואף להתעצם עם הזמן. עולם המחר יחייב, בנוסף למצוינות ספציפית חדר-חומית, הבנה כוללת ורחבה של תחומי הממשק הפוטנציאליים ליצירת שינופי פעולה מחקריים ויישומים תעשייתיים.

לדוגמה, תחום הביוטכנולוגיה והננוטכנולוגיה – שניהם תחומים מולטי-דיסציפלינריים הדורשים שילוב יכולות מתחכם ומורכב מתחומי מדע שונים וחשיבה מחוץ לקופסה, אשר מגדיל

בשנת 1996 הצטרפה מדינת ישראל לתכנית המסגרת למחקר ופיתוח, שפועלת באיחוד האירופי. מעבר למיצובה של ישראל בשורה אחת עם המדינות המתקדמות והמפותחות בעולם, המשמעות של שותפות זו היא היותה מפתח להשקעה ולמינוף של מחקרים מקומיים, וכן לרעיונות ולחדשנות חוצי גבולות מדיניים ותחומיים.

התכנית מתבססת על הרעיון שלפיו רב־תחומיות תוביל לתוצאות טובות יותר. תכנית המסגרת של האיחוד האירופי מבקשת לנצל את הפוטנציאל הגלום באינטר־דיסציפלינריות, ולשלב בין תעשייה ואקדמיה, בין חוקרים, משתמשי קצה, גופים, רשויות, בתי חולים, חברות וענפים. כך, ההפריה המשולבת תסלול את הדרך לתוצאות מעשיות ולמצוינות מחקרית.

נכון לתכנית השביעית במספר, שמסתיימת בשנת 2013, חברות בה 41 מדינות, שמוגדרות חברות מלאות, ובהן גם ישראל (היחידה שאינה באירופה), ועוד ארבע מדינות במעמד שונה – עמיתות או קשורות בדרך כלשהי לתכנית ולגוש האירו, שבהן קנדה ודרום קורדיאה.

ISERD – המפתח לאירופה

מינהלת ISERD (Israel-Europe R&D), שפועלת מתוקף החלטת ממשלה, מייצגת את הגורמים הישראליים שלוקחים חלק בתכנית, ומקדמת את הצעותיהם. המינהלת פועלת תחת ועדת היגוי בין־משרדית, שבה שותפים משרד התמ"ת והמדען הראשי, משרד המדע והטכנולוגיה, משרד החוץ, משרד האוצר, וכן נציגי הוועדה הלאומית לתכנון ולתקצוב (ות"ת) במועצה להשכלה גבוהה.

"המדע לכשעצמו מתכנס רק כשהוא רוצה להיות יישומי ולענות לצורך אנושי", אומר מנכ"ל ISERD, מרסל שטאון, שמלווה ומרכז את הפעילות הישראלית מול האיחוד האירופי, "בהיותה רב־תחומית ובינלאומית, מאפשרת תכנית המסגרת פריצות דרך, שככל הנראה לא היו מתקיימות לו הסתפקנו בהתמחויות פרטניות, אם בגלל היעדר תקציב, ואם בהיעדר נקודת מבט רחבה יותר".

שטאון מסביר, כי בעידן הנוכחי הגישה הרב־תחומית היא בלתי נמנעת. "למשל מכונית", הוא אומר, "כבר מזמן לא קשורה רק למכניקה. בניית מכונית דורשת מומחיות במדעי החומר, במדעי המחשב, ואפילו בכיולוגיה, בשל השאיפה לקיימות והצורך להיות ידירותיים לסביבה ולהשתמש בדלק דוגמת הביודיזל. השילוב הזה נכון לכל לדבר בחיי היומיום שלנו".

המעבר לגישה רב־תחומית הוא תהליך שמאפיין רק את העולם המודרני?

"לא בדיוק. לאונרדו דה וינצ'י היה מדען רב־תחומי. הרי המדע בא להסביר תופעות שונות ורחבות, ובהן גם תופעות חברתיות. אולם, עם הזמן ההתפתחויות המדעיות שאפו למצב הפוך. האנושות אוהבת סדר, ולכן די בהתחלה השתרשה השאיפה להתכנסות ולהתמחות בנושא מסוים. פרסי נובל, למשל, מובחנים לפי תחומים. אבל כיום המגמה היא לשוב ולשלב אותם זה בזה. הצרכים האנושיים והפיתוחים דורשים זאת, והתעשייה מקשרת בין הגורמים".



מרסל שטאון, מנכ"ל ISERD. "בהיותה רב־תחומית ובינלאומית, מאפשרת תכנית המסגרת פריצות דרך"

"הצרכים האנושיים דורשים רב־תחומיות, והתעשייה מקשרת בין הגורמים"

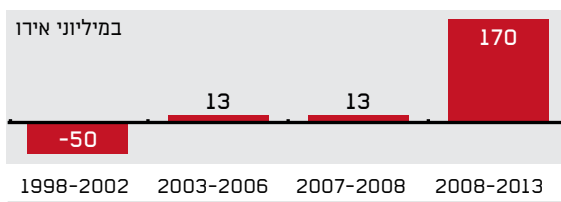
באמצעות תכנית המסגרת של האיחוד האירופי נפגשים חוקרים מתחומים ומדינות שונות, ויחד מגיעים לפריצות דרך מדעיות ואף להקמתן של חברות • מרסל שטאון, מנכ"ל מינהלת ISERD, שאחראית על הקשר בין ישראל לתכנית המסגרת: "מלבד המענקים שאנו מקבלים על המחקרים, אנחנו זוכים בהיקף עצום של ידע" / שירי דובר

ישראל מעורבת בפרויקטים נוספים, מלבד אלו שהוגשו מטעמה?
 "כמובן. הרי זה הרעיון שעומד מאחורי הרב-תחומיות - שילוב ענפי הידע. כל פרויקט מחקרי חייב לשלב שלוש מדינות לפחות. מה שרק מרחיב את מעגל התרומה".

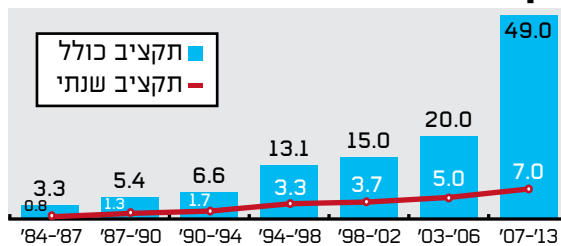
מדע מעשי

נוסף על השילוב בין מדינות ותחומי מדע, מנוהלת התכנית בצורה מעשית, שמשלבת בייעילות את האקדמיה והתעשייה. אם בראשית דרכה תכנית המסגרת התנהלה על פי המתווה המקובל רק באקדמיה, הרי שעתה הומצא האיוון הנכון, שמשלב בינה לבין התעשייה, והאחרונה הפכה לחלק אינטגרלי ובלתי נפרד. דוגמאות למחקרים ופרויקטים יש למכביר, אולם כמה מהם מעניינים במיוחד. מרסל שטאון מספר על אחת ההצלחות: "הגיע אלינו רופא שיניים עם רעיון לפתרון של בעיית היעדר רוק בפה. מצב כזה משבש את היכולת לחוש צמא ועלול לגרום להתייבשות, בעיקר אצל אוכלוסייה מבוגרת. הצעתו הייתה להשתיל בשן חישן ייעודי, אשר יתריע על הצורך באיוון. חיפשונו 'קול קורא' שנוכל להתאים לו את הצעת המחקר, ובסופו של דבר מצאנו אותו בהצעה למשימה הכוללת שימוש בחיישנים ב-ICT (Information and Communication Technologies), כלומר בעולם התקשורת. היה מעניין לגלות שדווקא לתחום הרפואה הנושא פחות תארים. מה שעוד ניתן לראות כאן הוא השילוב בין התחומים המדעיים. זו כמובן לא רק רפואת שיניים - יש צורך בטכנולוגיות חומרים בשביל לבנות את השתל לשן, ובטכנולוגיות אלקטרוניות בשביל החישן, ומדובר גם על סוגיה חברתית, כיוון שהרעיון מיועד בעיקר לאוכלוסיית הקשישים. המחקר הסתיים בהצלחה, ובעקבותיו אף הוקמה חברה שפועלת בתחום".

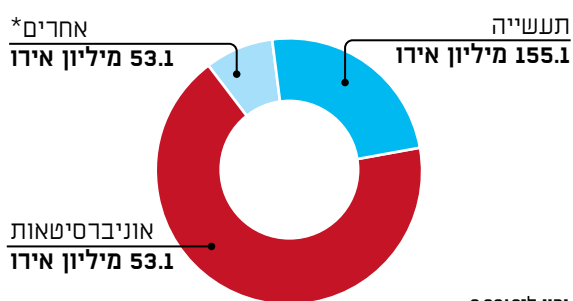
החזרי המימון המחקרי שקיבלה ישראל בכל תכנית



תקציבי תכנית המסגרת



כיצד חולקו 640.2 מיליון האירו שקיבלו הגופים הישראליים



נכון ל-2013. *עיריות, משרדי ממשלה, בתי חולים וכו'

לצד השאיפות המחקריות עצמן, מבקשת תכנית המסגרת האירופית לתת מענה לסוגיות מדעיות, כלכליות וחברתיות. היא עושה זאת באמצעות פרסום תכניות עבודה ובקשות "קול קורא" לתהליכי מחקר ופיתוח. אלה מביאים ליצירת מקומות עבודה, ולהגדלת כושר התחרותיות (תוך התמקדות בגוש האירופי), כאשר החברות בתכנית משתתפות יחד במימון המחקרים.

מדובר בהשקעה משתלמת כלכלית עבור ישראל?

"בתכנית הרביעית של האיחוד, הראשונה שבה ישראל לקחה חלק, ההשקעה הכלכלית מצדנו לא הייתה כדאית. העברנו סכום של 100 מיליון אירו לתכנית, כרמי השתתפות, וקיבלנו חזרה, מהמחקרים שבהם השתתפנו, 50 מיליון אירו בלבד. מובן שזה היה מאכזב, והעלה סימן שאלה בנוגע לרמת הכדאיות. עם השנים היחס השתנה



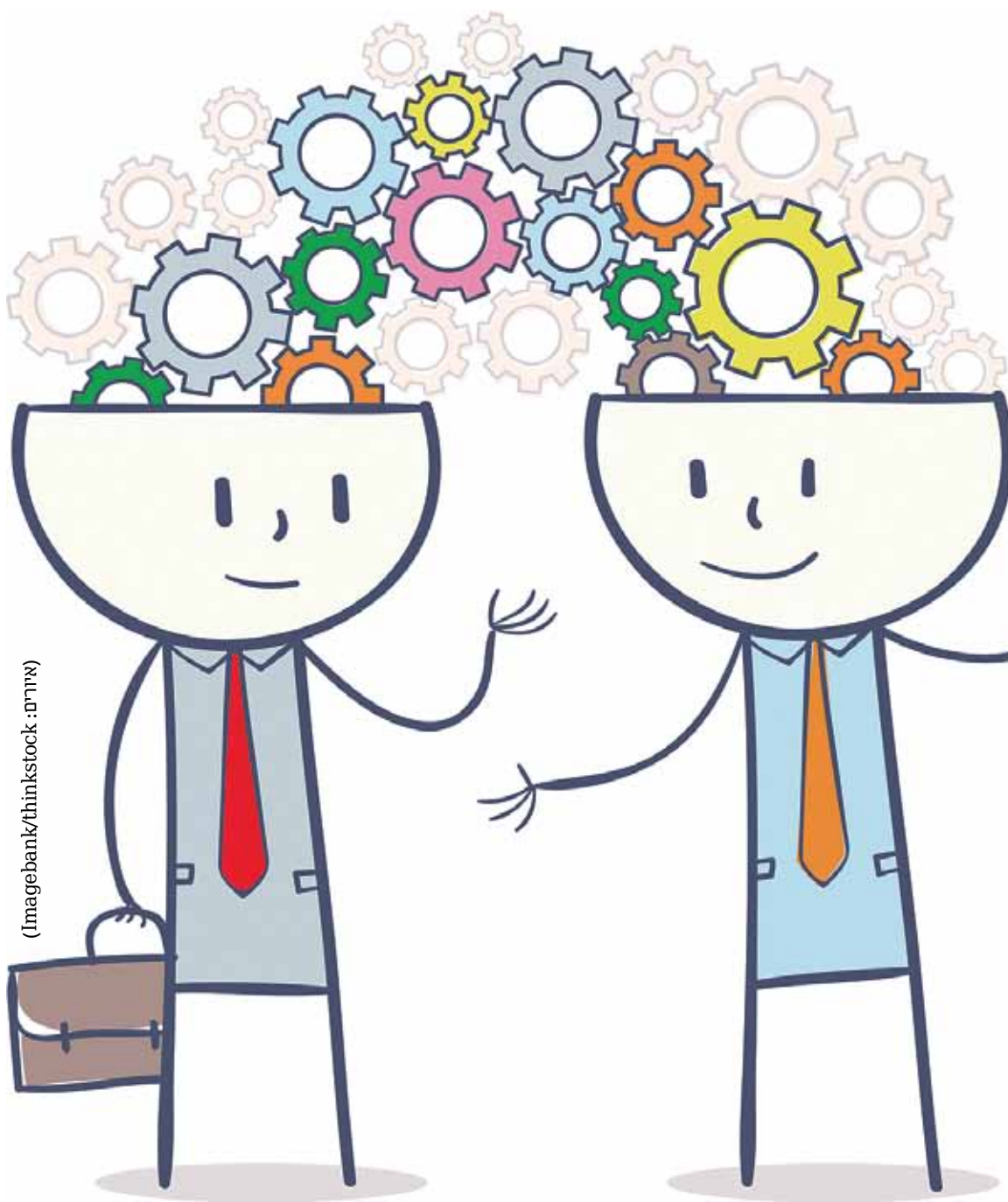
Horizon 2020 - העתיד נראה מצוין

עד היום הפעילה המסגרת שבע תכניות, שרובן נפרסו על פני ארבע שנים (התכנית השביעית ארוכה יותר, ומתפרסת על פני השנים 2007-2013), והתקציב בהתאם. הוכחה להצלחת היוזמה ניתן לראות, הן במספר ההולך ועולה של המדינות השותפות, והן בתקציב הכולל. אם בראשית שנות ה-80 של המאה שעברה תוקצבה התכנית הראשונה ב-3.3 מיליארד אירו בלבד, הרי התכנית שתסתיים בשנת 2013 כבר מתקצבת ב-49 מיליארד אירו. אך למרות רמת ההשקעה, נראה כי את השיא נראה בתכנית הבאה, שלה העניק האיחוד האירופי את השם Horizon 2020. כשברקע אירופה מיטלטלת על גלי המשבר הכלכלי, הציבה לעצמה תכנית המסגרת אתגרים שאפתניים להתמודדות עם המצב. תכנית עתידית זו, שתחל בשנת 2014 ותסתיים בשנת 2020, נשענת על שלוש אבני בניין עיקריות: **מצוינות מדעית** - רמת המדע של היום היא הבסיס לרווחתנו בעתיד, ולפיכך יש לגייס ולשמר את החוקרים הבולטים ביותר, "הטאלנטים" אפשר לומר, ולאפשר גישה מחקרית למסגרות מובילות. **מובילות בתעשייה** - השקעות אסטרטגיות בטכנולוגיות מפתח (ICT), מיקרו וננוטכנולוגיה. בדרך זו תוכל תכנית המסגרת האירופית למשוך יותר השקעות פרטיות במחקר ובהדשנות. בנוסף, השקעות דווקא בגופים קטנים ובינוניים יוכלו לעודד את הצמיחה והתעסוקה, ולהביא תוצאות מיידיות, ולא דווקא ארוכות טווח. **אתגרים חברתיים** - כדי לפתח את השירותים החברתיים, את רווחת הפרט ואת המתודולוגיות הסביבתיות, יש צורך בהדשנות. פריצות הדרך יגיעו דווקא מתוך שיתופי הפעולה המדעיים הרב-תחומיים, ובהם גם מדעי החברה. את הפתרונות המוצעים יהיה צורך לבחון ולהדגים, וזאת ניתן יהיה לעשות מול הציבור. נוסף על תחומים אלה, מתאפיינת תכנית Horizon 2020 העתידית בפישוט התהליכים. היא מתבססת על ההנחה שפשטות יכולה לייעל את השיטה שבה היא פועלת, כלומר לקצר תהליכים ולאפשר יישום מהיר, שממנו ייהנו משתמשי הקצה. כך או כך, נוכח הצלחות העבר ומידת המעורבות הישראלית הגוברת, ניתן לסכם ולומר, שהודות לרב-תחומיות המחקרית בתכנית המסגרת האירופית ולניהולה המקומי של ה-ISERD, עולה הערך המוסף של המחקר, שמתורגם לקשרים, ידע ונקודות פריצה לעתיד. ■

וההחזר עלה על ההשקעה, ואף במידה משמעותית. כבר בתכנית החמישית העברנו 154 מיליון אירו, והמימון המחקרי שקיבלנו חזרה עמד על 167 מיליון אירו. בתכנית השישית העברנו 191 מיליון אירו, והמימון שזכינו לו עמד על 204 מיליון אירו. בתכנית הנוכחית השקענו 530 מיליון אירו, וההערכה היא כי נקבל חזרה כ-700 מיליון אירו. כך שאין ספק שההשקעה מצדיקה את עצמה". את הרווח לישראל, יש לציין, לא ניתן למדוד רק בכסף. חשוב לזכור שהתכנית פותחת בפני ישראל שווקים חדשים, שאליהם היא לא הייתה נחשפת בהכרח, ומנגישה אותה לשוק האירופי. לנוכחות זו יש תרומה לא מבוטלת לעסקים פרטיים ולמשק המקומי כולו. החברות בתכנית מאפשרות חשיפה לטכנולוגיות חדשות, מעורבות בקביעת סטנדרטים, וכן מעניקה הזדמנות לממש פרויקטים עצומים ושפתניים, שדורשים מימון רב. "תזרים המזומנים הוא לא הגורם המכריע והיחיד כאן", מרגיש שטאון, "ניתן לומר שאנחנו זוכים בהיקף עצום של ידע, והתרומה המחקרית עולה על תזרים המזומנים. אם ניקח לדוגמה את המשתתפים בתכנית השביעית, הרי מתוך 7,397 אנשים וגופים שנענו ל"קול קורא", דהיינו הגישו הצעת מחקר, 1,736 מהם זכו למימון. הערך הכולל של פרויקטים בהשתתפות ישראלית עומד, נכון לחודש פברואר 2013, על 18.8 מיליארד אירו".

זהירות, גונבים לך את המוח

האם חוקרים גילו פריצת דרך בדרך לקריאת מחשבות? וכיצד ניתן לגלות את הסודות הכמוסים ביותר שלכם באמצעות אפליקציה? • שלל פריצות דרך בתחום חקר המוח, מובילות בשנים האחרונות לתובנות מאירות עיניים, אך גם מדאיגות / גיא קצוביץ'



יכולת חדשה ומורכבת, שהוצגה באחרונה בכנס אבטחת מידע, מראה כיצד יכולים האקרים לפרוץ לתוך מוח אנושי, לא פחות, באמצעות קריאה של הפעילות החשמלית במוח.

היכולת פועלת בקרב משתמשים בממשקי מוח-מכונה (מכונות המאפשרות למדוד את הפעילות החשמלית במוח), המשמשים לצרכים רפואיים, או להפעלה מרחוק של מכשירים אלקטרוניים, כמו מחשבים או טאבלטים. לפני שאתם מתכננים את מושב הקבע שלכם בספה, חשוב לומר שלא הכול טוב ונוח בטכנולוגיה המרשימה הזו - היכולת החדשה מאפשרת לבצע מניפולציות על המוח, ולאסוף מהקורבנות מידע פרטי ורגיש, כמו היכן הם גרים, שם הבנק שלהם, קוד האבטחה בכרטיס האשראי ותאריך הלידה. ממשקי מוח-מכונה מורכבים משני רכיבים בסיסיים:

חומרה - אשר בסיסה הוא בדרך כלל זוג אוזניות, שמכילות חיישנים המקיפים את הגולגולת, וסורקים את פעילות המוח; והתכנה - אשר מעבדת ומנתחת את פעילות גלי המוח, בזמן שהמשתמש מבצע "פעולה" כלשהי במוחו, כמו להורות "מינה" לסמן העכבר במחשב או פתיחת תיקיה כלשהי.

למרות השימוש העיקרי בממשקים הללו הוא למטרות רפואיות - ולשם כך הם נמכרים במחירים גבוהים במיוחד - עם ההתקדמות הטכנולוגית, חלה הוולה משמעותית במחיריהם, בעיקר של אלה המיועדים לשליטה מרחוק בציוד טכנולוגי. כיום ניתן לרכוש אותם בארה"ב במחירים של 200-300 דולר, והיד עוד נטויה. כמה חברות כבר מוכרות ציוד כזה, ואחרי "אימון" קצר, שמלמד כיצד להפעיל את הממשק, אתם מוכנים ומזומנים לשלוט מרחוק במחשב האישי שלכם.

"כל מה שצריך זה אפליקציה"

נשמע טוב? כאן בדיוק טמון הקאץ': לכל ממשק מוח-מכונה כזה, יש ממשק תכנות יישומים (API) משלו, שמאפשר למתכנתים לכתוב עליו קוד משלהם. כך, בפרויקט משותף של אוניברסיטאות אוקספורד בבריטניה וברקלי בקליפורניה, כתבו מתכנתים וחוקרי אבטחה תכנה שיכולה לאתר מידע רגיש בקרב משתמשיה. בניסוי שנערך, ברקו את התכנה 28 משתמשים, אשר שיתפו פעולה ועברו עמה, אולם לא ידעו שבאותו הזמן היא גם מנסה "לפרוץ" למוחם. התוצאות העלו הצלחה של 10%-40% באיתור מידע רגיש על אודותיהם. בהתחשב בעובדה שהשיטה הזו נמצאת רק

שמופיעה כאשר הוא נתקל במשהו מוכר, כמו פרצוף של קרוב משפחה או חבר, או חפץ שמתאים למשימה שברצונו לבצע כרגע. כך, התכנה משררת למשתמש תמונות של מפות, בנקים, קודי אבטחה של כרטיסי אשראי, וכדומה,

בראשית דרכה, בהחלט מדובר בממצאים מטרידים. ההדירה למידע הרגיש במוח מתבססת על תגובה מוחית, שנקראת P300 וקשורה לתהליך קבלת החלטות. תגובה זו יוצרת תבנית ספציפית בגלי המוח של המשתמש,

איורים: Imagebank/thinkstock

ומתעדת את כל המקרים שבהם מוחו עושה שימוש בתגובת P300 למידע. תגובה זו משמעה שייתכן שהמידע המוצג למשתמש משמעותי עבורו, באופן אישי.

החוקרים מאוקספורד וברקלי מזהירים כי בעולם האמיתי יוכלו האקרים ליצור תכנה דומה, אשר תתחזה למשחק בממשקי מוח-מכונה, אבל למעשה מטרתה תהיה לאסוף מידע רגיש ממוחו של המשתמש.

"חשוב להדגיש שכדי לגנוב את המידע באופן מוצלח, על הגנבים להיות נגישים גם לנתונים מהממשק מוח-מכונה, וגם לתמונות שמוקרנות לקורבן", מדגיש פרופ' דאוון סונג, מקבוצת המחקר בברקלי, שפיתחה את השיטה, "עם זאת, לא קשה לרמיין אפליקציות אשר ירמו משתמשים ויגרמו להם לחשוב על מידע פרטי, אשר ייחשף באמצעות האותות החשמליים במוח שלהם, בעוד התוקף עצמו לא

החוקרים מאוקספורד וברקלי מזהירים, כי בעולם האמיתי יוכלו האקרים ליצור תכנה דומה, אשר תתחזה למשחק בממשקי מוח-מכונה, אבל למעשה מטרתה תהיה לאסוף מידע רגיש ממוחו של המשתמש

צריך לחשוף דבר.

"כל מה שצריך זה אפליקציה שהמשתמש יוריד וישחק בה", מוסיף סונג, "במקרה הזה, התוקף פשוט יודע להתאים בין המידע שמגיע מגלי המוח של המשתמש, לבין התמונות שהוא רואה על המסך. כך הוא יודע, למעשה, איזה הקשר יש למידע וכמה הוא רגיש".

מנגד, מבהירים החוקרים, סיכויי ההצלחה בגניבת המידע גבוהים רק בתנאי שהמשתמש מרגיש נוח בעבודתו עם התכנה. ברגע שבינן כי יש אפשרות שמנסים לפרוץ למוחו, ההליך ייפך לקשה פי כמה. מנגד, גם המתודולוגיה עצמה נמצאת בתחילת דרכה, וככל שהיא שתשתפר, כך יגברו הסיכויים שבקרוב גניבת מידע מהמוח תיפך לתופעה שכיחה.

משותקים, עכברים ואלקטרודות

בשנים האחרונות חלה התקדמות דרמטית במחקרים, שמתחילים אחר פעילות המוח האנושי. חוקרים מאוניברסיטת ברקלי אף הצהירו לא מזמן, כי מצאו שיטה לשחזור וקידוד מחשבות של סובייקטים. במאמר שפורסם במגזין המדעי היוקרתי PLoS Biology, סיפר פרופ' רוברט נייט מאוניברסיטת ברקלי, כי חוקריו הצליחו, באמצעות ניטור הפעילות החשמלית במוח, לשחזר מילים שלמות משיחות שלהן האזינו הנבדקים שלהם. יכולת זו, אם תחודר ותשתפר,

תאפשר לשחזר שיחות ומחשבות שלמות, כך שגם משותקים או אילמים למשל יוכלו לנהל שיחה.

הקדמה מאפשרת לחוקרים לא רק להבין את המתרחש בנבכי המוח, אלא גם לשכלל את פעילותו. במחקר עדכני שפורסם ב-Scientific Reports דווח, כי קבוצת חוקרים מאוניברסיטת דיוק הצליחו לחבר את מוחותיהן של שתי חולדות באלקטרודות, והשתיים הצליחו לתקשר ביניהן ולהשפיע זו על תנועותיה של זו.

מבצעי המחקר מקווים, כי בעתיד יוכלו לחבר את מוחותיהן של כמה חיות למעין מחשב אורגני, אשר יאחסן את הזיכרונות והמחשבות שלהן. בהמשך, מקווים החוקרים, יאפשר אותו מחשב לבני אדם להיעזר במאגר המידע כדי לשלוף ממנו מידע חיוני, ואף לבצע בעזרתו חישובים מורכבים. במקביל, יוכל המחשב למסור לחוקרים מידע מעניין וייחודי על התנהגות קבוצות של בעלי חיים, אשר יתרום למחקרים אחרים בתחום הזואולוגיה, הביולוגיה והפסיכולוגיה ההתנהגותית.

"השאלה היא האם אנו יכולים 'לעבוד' על המוח שלנו? האם אנו יכולים לגרום לו לעבד אותות שמגיעים ממוח אחר?", שאל פרופ' מיגל ניקולליס מאוניברסיטת דיוק, אשר ניהל את המחקר, "התשובה היא, כמובן - כן".

ניקולליס וקבוצת חוקרים מאוניברסיטת דיוק ומברזיל אימנו במהלך המחקר שתי חולדות, שקיבלו מים כפרס על ביצוע מוצלח של תרגילים. חולדה אחת אומנה לחוץ על אחד משני מתגים ברגע שנורה, שנמצאת מעל אותו מתג, נדלקת. החולדה השנייה אומנה באותו האופן, אלא שהיא עשתה זאת באמצעות תגובה לאותות חשמליים, שנשלחו ממוחה של החולדה הראשונה.

במהלך הניסוי הצמידו החוקרים אלקטרודה לחולדה הראשונה, שהקליטה את הפעילות המוחית שלה, ברגע שנדלקה נורה מעל אחד המתגים. האלקטרודה העבירה את המידע למחשב מרכזי, וזה שידר אותו לאלקטרודה אחרת, שהוצמדה למוחה של החולדה השנייה. בתגובה, זו האחרונה לחצה ב-7 מתוך 10 פעמים על המתג הנכון (שמעליו נדלקה הנורה), כלומר בהתאם להוראות שהגיעו ממוחה של החולדה הראשונה.

"למעשה, אנחנו מייצרים כאן מעין מוח-על אורגני", אמר ניקולליס, "בעתיד נוכל להשתמש בממצאים כדי לחבר רשת של מוחות. אין לנו אפילו דרך להתחיל לדמיין כיצד זה ישפיע על התנהגות של בעלי חיים. בתיאוריה, סביר להניח שקבוצה של מוחות יוכלו לספק פתרונות, שמוח בודד לא יוכל להשיג אף פעם בכוחות עצמו".

"כל התגליות האחרונות על המוח הן תגליות ענקיות", סיכם נייט, שניהל את מחקר "קריאת המחשבות", והוא גם מנסה להרגיע את אלה החוששים מהשתלטות של זרים על מחשבותיהם. "לא ניתן לבצע שום פעילות שדומה לניטור מחשבות ופעילות מוחית, מבלי לבצע סריקה פולשנית של הפעילות החשמלית במוח", הוא אומר, "כל אלה מאיתנו שחרדים לפרטיות המחשבות שלהם, יכולים להישאר רגועים - בעתיד הקרוב אף אחד לא יוכל להשתעשע במוח שלכם, מבלי להניח קסדה ענקית על ראשכם". ■

בהכנת הכתבה סייע ד"ר אופיר לוי, מנכ"ל חברת

BioAssociate

מבצעי המחקר מקווים, כי בעתיד יוכלו לחבר כמה מוחות למעין מחשב אורגני, אשר יאחסן את הזיכרונות והמחשבות שלהם. "השאלה היא האם אנו יכולים 'לעבוד' על המוח שלנו? האם אנו יכולים לגרום לו לעבד אותות שמגיעים, למעשה, ממוח אחר? התשובה היא, כמובן - כן"

"למעשה, אנחנו מייצרים כאן מעין מוח-על אורגני. בעתיד נוכל להשתמש בממצאים כדי לחבר רשת של מוחות. בתיאוריה, סביר שקבוצה של מוחות יוכלו לספק פתרונות, שמוח בודד לא יוכל להשיג אף פעם בכוחות עצמו"





ד"ר אסתר (אמית) לוצאטו

חדשנות טכנולוגית בעידן הרב-תחומיות

המצאות פורצות דרך רבות בעולמנו הן ביטוי לתפיסה רבת-תחומית • יש לכך השלכות על כל שרשרת ייצור הערך בתהליך הפיתוח, לרבות בתחום הקניין הרוחני, המגלם בתוכו את היתרון היחסי המהותי של הפיתוח הטכנולוגי

אינטלקטואלי בלתי מוחשי.

לעניין זה השלכות על כל תהליך שרשרת ערך הייצור בפיתוח טכנולוגי, וממנו נגזר גם שינוי ביכולות המקצועיות של אנשי הקניין הרוחני. כיום משרדי עורכי פטנטים מהשורה הראשונה חייבים לכלול בשורותיהם עורכי פטנטים בעלי השכלה אקדמית רבת-תחומית ומשפטית וניסיון רב בפיתוח רבת-תחומי, הן באקדמיה והן בחברות מובילות בתעשייה. משרד עורכי פטנטים, המבקש להתמודד עם המציאות הרבת-תחומית החדשה, מחויב בהסתכלות רב-ממדית הכוללת תחומים מגוונים, לרבות מחשב (תכנה וחומרה), המצאות מבוססות מחשב, הנדסת חשמל, אלקטרוניקה, אלקטרו-אופטיקה, תקשורת, אינטרנט, שיטות עסקיות מבוססות מחשב, טכנולוגיות אחסון מידע ועוד.

שילוב כוחות

לסיכום, שילוב כוחות מתחומים שונים, למציאת פתרונות לסוגיות מדעיות וטכנולוגיות, הופך להיות מרכיב חשוב בהתפתחות האנושית. התמודדות עם האתגרים הסביבתיים, הכלכליים, התעשייתיים והחברתיים, אשר בפניהם אנו עומדים היום, דורשת גישה רבת-תחומית וחדשנות טכנולוגית. למעשה, ובניגוד לדימוי המקובל, מרבית התחומים התעשייתיים כיום הם תחומים עתירי ידע וטכנולוגיה. לכן, כדי להשיג את המטרות השימושיות, התרבותיות, החברתיות, הכלכליות והאסתטיות הרצויות, הם עושים שימוש בגישה רבת-תחומית, הן בזמן תהליך התכנון והן במוצרים עצמם. חידושים טכנולוגיים – שלעיתים קרובות כמה מהם מופיעים באותה העת – משנים את שרשרת ייצור הערך של הפיתוח הטכנולוגי, ומחייבים היערכות חדשה הכוללת ראיית עולם רבת-תחומית ורב-ממדית. ■ הכותבת היא שותפה-מנהלת בקבוצת לוצאטו, העוסקת בפיתוח ומינוף קניין רוחני, וחברת הוועד המנהל של אוניברסיטת בן גוריון

עידן לחברת היישום של רפ"ל, ובה הוחלט להמתין עד קבלת אישור לבקשות הפטנט. לאחר שהאישור התקבל, הסמיכה החברה את ד"ר גבריאל מרון לבצע מחקר היתכנות עסקי. בשנת 1998 הוקמה גיוון אימג'ינג בהובלת ד"ר מרון, והיתר הוא היסטוריה – בשנת 2009 הודיעה גיוון אימג'ינג שעברה את רף מכירת מיליון הגלולות ברחבי העולם. צאו וחיטבו כמה עולמות תוכן שונים היו מעורבים בתהליך – רפואה (שמגדירה את הבעיה הרפואית), טכנולוגיה, הנדסה, אופטיקה ועוד. יש כאן גם היבט נוסף, והוא ההתפתחות הרב-שלבית כתוצאה מגישה רבת-תחומית. בעקבות התפתחות תהליכי המזעור האלקטרו-אופטיים, התפתח עולם של מכשור רפואי ממוזער. האפשרויות שנוצרו לטיפול מיקרוסקופי הביאו לפיתוח של מערכות זיהוי מוקדמות (ביר-מרקרים), אשר בשילוב עם ההתפתחות שחלה בתחום הגנטיקה (חשיפת הגנום האנושי), וכתוצאה מפעילות סינרגטית, יצרה בתורה מערך של מרקרים ביולוגיים. המסקנה היא שלרבת-תחומיות השלכות יוצאות דופן מעבר לפיתוח הספציפי עצמו.

קניין רוחני כמרכיב חיוני

קניין רוחני בכלל, ופטנטים בפרט, מהווים את אבני הבניין של ההתפתחות הטכנולוגית. הם לא רק ביטוי משפטי, המעניק לממציא מונופולין על המצאתו למשך תקופה מסוימת, ובכך מתמרץ את הפיתוח הטכנולוגי והיזמות העסקית; בהסתכלות רחבה יותר, הקניין הרוחני מגלם בתוכו את מהות היתרון היחסי של החברה, הנשענת על פיתוח טכנולוגי פורץ דרך. אחרי הכל, מהות המצאה בתחומים רבים אינה עניין פיזי, אלא נכס

פריצות דרך לא מעטות בתחומי המדע והטכנולוגיה התאפשרו בעשורים האחרונים הודות לנקיטת גישה רבת-תחומית. החיבור בין מדע וטכנולוגיה בעידן של טכנולוגיות מידע ותקשורת יצר את התשתית שעל בסיסה נוצרה גישה רבת-תחומית, המטפלת באבחון בעיות בגישה הוליסטית ויונקת ממספר מקורות השראה ותחומי עניין לכדי יצירת פתרון חדש. קחו, למשל, תחום כמו רובוטיקה, שהתפתח מאוד בשנים האחרונות. בפיתוח מערכות רובוטיות נעשה שימוש בעולמות תוכן מגוונים – הנדסה, אלקטרוניקה, מכניקה, תכנה, אלגוריתמיקה, בקרה ועוד. ההשפעה של הרובוטיקה בחיינו היא רבה, בתחומים כמו תעשייה, חקלאות, רפואה ובינה מלאכותית, וכן בסביבה הביתית – מה שמדגים את חשיבות היצירה הבין-תחומית. בתחומי הרפואה, התפיסה הרבת-תחומית, או הבין-תחומית, באה לידי ביטוי בולט. היא מבוססת על ההנחה שגוף האדם הוא מערכת אורגנית רב-ממדית, שבה יש זיקה בין מערכות שונות. מחקרים רבים הראו שבניית צוותים רבת-תחומיים בתחומים רפואיים שונים, הביאה לפתרון מוצלח של בעיות רפואיות. לדוגמה, ביחידות טיפול נמרץ התברר ששילוב רופאים, רוקחים קליניים, אחיות, מומחים לבעיות נשימה וצוותי רפואה מדיסציפלינות שונות הביא לירידה בתמותה. בכלל, יותר ויותר מרכזים רפואיים פותחים כיום מרכזים רבת-תחומיים, הכוללים חוקרים ורופאים מדיסציפלינות שונות למתן פתרון לסוגיות רפואיות. דוגמה אחרת היא חקר המוח, הוהפך להיות אחד מתחומי המחקר החמים ביותר כיום; אליו מתנקזים משאבים עצומים של מוסדות מחקר, חברות תרופות וממשלות, במה שמבטא גישה רבת-תחומית, המשלבת מחקר מתחומים כמו ביולוגיה, פיזיולוגיה, מדעי העצב ועוד.

מכשור רפואי כביטוי רבת-תחומי

במקרים שצוינו מדובר על רבת-תחומיות מדיסציפלינות קרובות, אך רבת-תחומיות יכולה להיות גם מתחומי תוכן רחוקים יחסית. התפתחות המכשור הרפואי בימינו היא ביטוי מובהק לרבת-תחומיות כזו, בהיותה שילוב של תחומי תוכן רבים ושונים. יותר מכך, ענף המכשור הרפואי מבטא רובד נוסף בתוך עולם הרבת-תחומיות: מעבר מפיתוח טכנולוגי, שהיה מיועד במקור לפונקציה מסוימת, לפונקציה אחרת. קחו, למשל, את התפתחותה של חברת גיוון אימג'ינג, שפיתחה טכנולוגיה של אנדרוסקופיה באמצעות גלולה, והוקמה על בסיס פטנטים של ד"ר גבי עידן מרפ"ל. וזה סיפור המעשה: בשנת 1981 החל ד"ר עידן את מחקרו בתחום כמחקר פרטי לאזור הטכנולוגיות הצבאיות, שפיתח ברפ"ל, לטובת שימושים רפואיים. המחקר התעכב בשל בעיות גודל וניצול אנרגיה. בשנת 1993 מצא ד"ר עידן פתרון לבעיות אלו על ידי שימוש בטכנולוגיית CMOS. ניסויי ההיתכנות, אגב, נעשו על בשר עוף שנרכש במכולת. לאחר שהוכיח היתכנות, פנה ד"ר

תואר ראשון ושני בהנדסה ובמדעים

PUBLICIS

”בוגר במדעים” (B.Sc.)

- הנדסת ביוטכנולוגיה ■ הנדסת מכונות
- הנדסת חשמל ואלקטרוניקה ■ הנדסת תכנה
- הנדסת תעשייה וניהול ■ מתמטיקה שימושית
- הנדסת מערכות מידע ■ הנדסה אופטית*

”מוסמך במדעים” (M.Sc.)

- הנדסת מערכות
- ביוטכנולוגיה
- הנדסת תכנה
- הנדסת תעשייה וניהול*

*הענקת התואר מותנית באישור המל”ג

הבחירה של
התעשייה



אורט בראודה
המכללה האקדמית להנדסה



braude.ac.il | *9099



להגיע לתעשייה לפני כולם

PUBLICIS

הבחירה של
התעשייה



אורט בראודה
המכללה האקדמית להנדסה



braude.ac.il | *9099