

המדעים המדדויקיים



מדעים המדויקים כוללים קשת רחבה של תחומי ידע, ובהם מתמטיקה, מדעי המחשב, פיזיקה, כימיה ותחומי הנדסה שונים. ישראל נחשבת למובילה בעולם בחלק מתחומים אלו בזכות קהילת חוקרים מצטיינים, פריצות דרך מדעיות והישגים מחקרניים מרשימים. מעמדה המוביל של ישראל בתחומים אלו התגבש במהלך השנים ומתחדש ללא הרף הודות לחוקרים צעירים המצטרפים לקהילה המדעית ומרחיבים את גבולות הידע. דוגמאות לתחומים שבהם ישראל מובילה הן קריפטוגרפיה, תורת הסיבוכיות, תורת הגרפים, גאומטריה חישובית, חישוב קוונטי, פיזיקה של חומר מוצק, אופטיקה ולייזרים, אסטרופיזיקה, כימיה חישובית, ננו-כימיה והנדסה ביו-רפואית. חוקרים ישראלים זכו בפרסי נובל, טיורינג, אבל, וולף ופילדס, וממשיכים להחזיק בעמדות מובילות בזירה המדעית הבינלאומית, לזכות בפרסים יוקרתיים, לפרסם בכתבי עת חשובים, להשתתף בכינוסים מובילים, לזכות במענקי ERC ולתרום ללא הרף לחדשנות העולמית.

לצד ההישגים הבולטים, לא פסחו האירועים הביטחוניים והחברתיים של התקופה האחרונה, ובפרט המלחמה המתמשכת, גם על קהילת המדעים המדויקים, בייחוד בשל תלותה המכרעת בהון אנושי איכותי. הפגיעה ניכרת בכמה מישורים: ירידה בהגעה של בת-רדוקטורנטים וסטודנטים בין-לאומיים, קושי בגיוס חוקרים מחו"ל, תחרות גוברת עם תעשייה גלובלית שמציעה תנאים מפתים, ואף עזיבה של חוקרים ישראלים מובילים למוסדות אקדמיים בחו"ל (מתוכם חוקרים וסטודנטים בתחומים תאורטיים כמתמטיקה ומדעי המחשב, שאינם תלויים בתשתיות פיזיות מורכבות). תשתיות מחקר מתקדמות בחו"ל הן גורם משיכה מרכזי נוסף. לצד זאת עלו גם אתגרים מערכתיים הנוגעים למנגנוני קידום והערכה, למבנה התמריצים ולאופני הקשר בין האקדמיה לתעשייה.

הוועדה שבחנה את מצב המדעים המדויקים בישראל, הסתמכה על נתונים ממערכת ההשכלה הגבוהה ועל ראיונות עם דקנים, עם סגני נשיא למחקר ופיתוח, עם יו"ר הקרן הלאומית למדע ועם חברי סגל במוסדות המובילים.

בפרק זה בחרנו להתמקד בשני אפיקים מרכזיים לשמירה על ההון האנושי ועל פיתוחו: הגדרה מחדש של

המושג מצוינות אקדמית לצורך שיפור הקליטה והקידום של חברי סגל בכיר, אגב שימוש במדדי מצוינות מבוססי תוכן ובהתאם להצהרת DORA; וצמצום בריחת המוחות לתעשייה באמצעות בחינת הקשרים בין האקדמיה לתעשייה בדגש על תפקידן של חברות המסחר באקדמיה, הקמת חממות טכנולוגיות באוניברסיטאות וחיזוק שיתופי הפעולה עם גופי התעשייה. שני האפיקים הללו כרוכים זה בזה ומעצבים את יכולתה של ישראל להוסיף ולהיות כוח מדעי בולט גם בעשורים הבאים.

הון אנושי, מימון ותקצוב

חברי סגל ועמיתי בתר־דוקטורט

איור 5 בפרק "תמונת מצב" מציג את מספר אנשי הסגל האקדמי הבכיר בהשכלה הגבוהה בתחומי המדעים המדויקים בשנת 2024. באותה שנה היו 3,247 חברי סגל במדעים המדויקים בישראל, שהם כ־30% מכלל אנשי הסגל. בפילוח פנימי היו ב־2024 כ־1,436 חברי סגל בהנדסה ואדריכלות, כ־976 במתמטיקה, סטטיסטיקה ומדעי המחשב, וכ־835 בפיזיקה, כימיה ותחומים נוספים (המדעים הפיזיקליים). בכל אחד משלושת תתי־התחומים חלה עלייה במספר אנשי הסגל מאז 2015: גידול של כ־16% בהנדסה ואדריכלות, 30% במתמטיקה, סטטיסטיקה ומדעי המחשב ו־18% במדעים הפיזיקליים (איור 6 בפרק "תמונת מצב").

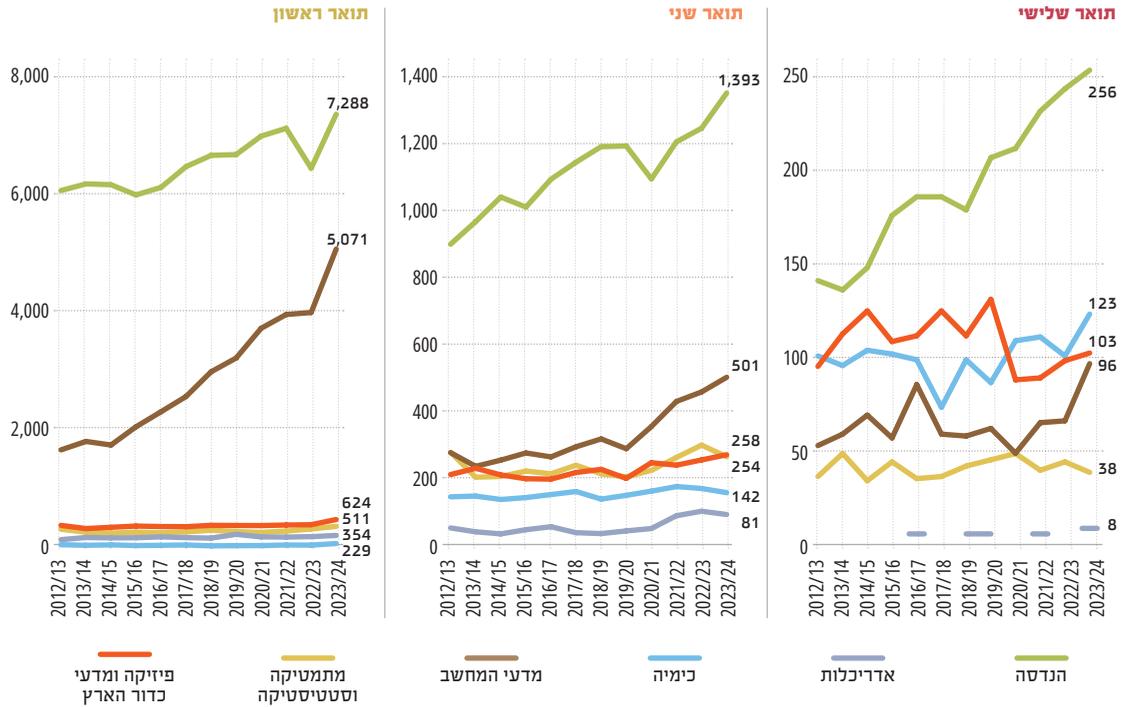
איור 9 בפרק "תמונת מצב" מציג את מספר עמיתי הבת־דוקטורט בישראל לפי תחומים. המספר עלה בהדרגה במשך חמש שנים בכ־6%, ובשנת 2023 היו 1,343 עמיתי בת־דוקטורט.⁷⁰ חלקם של עמיתי הבת־דוקטורט במדעים המדויקים נותר הגבוה ביותר ביחס לשאר התחומים ועמד על כ־41% מכלל העמיתים בשנת 2023.

סטודנטים ובוגרים

איור 54 מתאר את מספר בוגרי התארים על פי תחומי לימוד. מספר הבוגרים גבוה במיוחד במקצועות ההנדסה בשלושת התארים ונמצא במגמת עלייה בעשור האחרון (פרט לירידה בתואר הראשון בשנת הלימודים 2022/23). אולם יש לציין כי רק כ־3.5% מכלל בוגרי התואר הראשון המשיכו לתואר שלישי. גם במדעי המחשב ניכר גידול מרשים של כ־280% במספר בוגרי התואר הראשון בעשור האחרון, ורק כ־1.7% מכלל בוגרי התואר הראשון המשיכו לתואר שלישי.

בכימיה ובפיזיקה (המדעים הפיזיקליים) מספר הסטודנטים לתואר הראשון והשני נמוך יחסית לתחומי דעת אחרים במדעים המדויקים, ויש קושי בגיוס סטודנטים לתחומים אלו. בפגישות עם דקני הפקולטות לפיזיקה ולכימיה עלתה הסברה כי יש להתחיל לטפח עניין בתחומים אלה כבר בתיכון, ולאחר מכן לעודד המשך לימודים באמצעות הענקת מלגות גם בתואר הראשון. עם זאת יש לציין כי אחוז הממשיכים לתואר שלישי בכימיה ובפיזיקה הוא הגבוה מבין כל תחומי הלימוד במדעים מדויקים.

70 בשנת 2022 הופיעו נתונים יוצאי דופן שהעידו על ירידה חדה במספר עמיתי הבת־דוקטורט במדעי החיים והרפואה ועל עלייה במספרים דומים במדעים המדויקים. נתונים אלו יכולים לנבוע משינוי בסיווגים באותה שנה או מבעיות טכניות אחרות.



איור 54. מספר בוגרי התארים במדעים המדויקים במוסדות להשכלה גבוהה לפי תתי-תחומים ולפי תואר, תשע"ב-תשפ"ד (2012/13-2023/24). הנתונים כוללים את האוניברסיטה הפתוחה. מקור: הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה

עוד עלה בשיחות עם נציגי הפקולטות כי בתחומי ידע הנמצאים כיום בחזית המחקר, כגון מדעי המחשב, טכנולוגיות קוונטיות ובינה מלאכותית, מורגש במיוחד המחסור בתלמידי תואר שלישי. תלמידים אלה הם העתודה המחקרית המצטיינת, שאמורה להיות דור העתיד של החוקרים ושל חברי הסגל האקדמי. אולם כוח המשיכה הרב של התעשייה, ובייחוד ענף ההיי-טק, מפתה סטודנטים מבריקים לעזוב את מסלול המחקר האקדמי כבר לאחר התואר השני, ולעיתים אף לפני כן. טבלה 2 מציגה מגמה זו בהתייחסות לאחוז הסטודנטים שקיבלו תואר ראשון והמשיכו לתואר שני בשלוש תקופות זמן עוקבות. אפשר להבחין בהבדלים ניכרים בין מקצועות הפיזיקה והביולוגיה, שבהם שיעור הממשיכים הוא 60%-70%, לבין מקצועות המתמטיקה וההנדסה, שבהם שיעור הממשיכים נמוך לאין שיעור – 26%-27%.

תחום	קיבלו תואר ראשון בשנת 2016/17 והמשיכו ללימודי תואר שני	קיבלו תואר ראשון בשנת 2017/18 והמשיכו ללימודי תואר שני	קיבלו תואר ראשון בשנת 2016 והמשיכו ללימודי תואר שני
מתמטיקה, סטטיסטיקה ומדעי המחשב	28.7%	27%	27.1%
הנדסה ואדריכלות	29.3%	26.7%	27.5%
המדעים הביולוגיים וחקלאות	60.6%	62.1%	62%
המדעים הפיזיקליים	66.9%	69.8%	69.6%
רפואה	98.8%	98.2%	99.5%

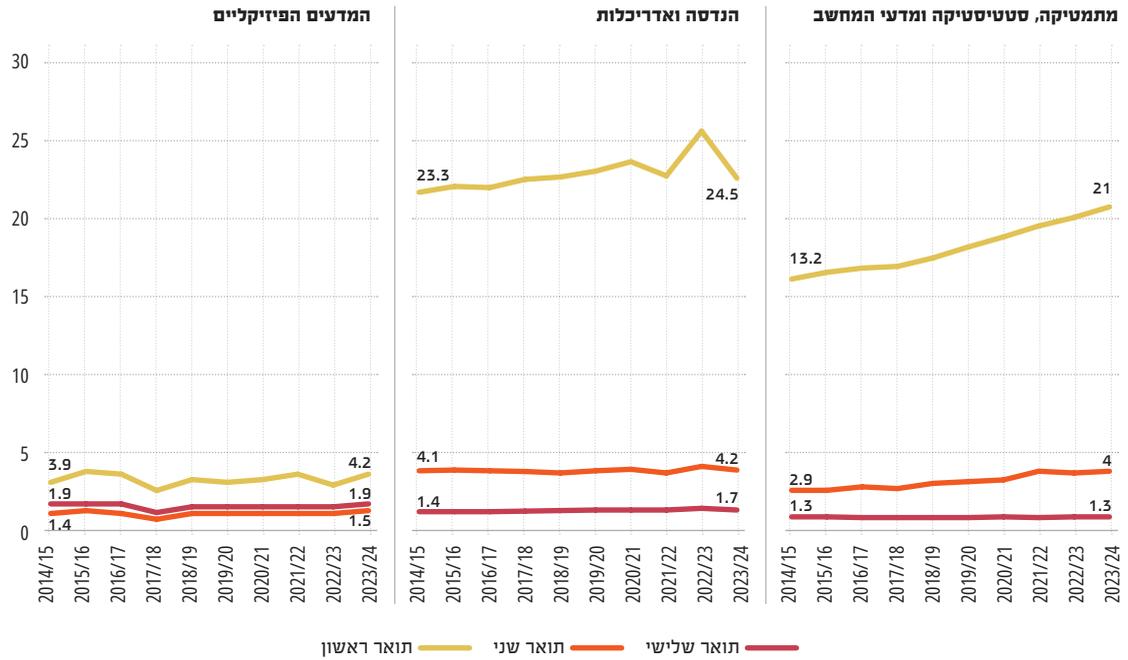
טבלה 2: אחוז בוגרי תואר ראשון שהמשיכו ללימודי תואר שני בתוך שבע שנים מקבלת התואר הראשון לפי תחום לימוד לתואר ראשון. יש לציין כי יותר ממחצית הסטודנטים ממשיכים ללימודים באותו תחום לימוד מקור: הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה

הפיתוי לעבור לתעשייה נובע לא רק מתנאי ההעסקה המשופרים, אלא גם מהאפשרות לעסוק במחקר מתקדם וחדשני בחברות טכנולוגיה מובילות. עם זאת חשוב לציין שמלגות המחקר נותרו נמוכות יחסית ולא עודכנו באופן מהותי לאורך השנים. כאשר הפער בין המלגה האקדמית לשכר בתעשייה מגיע לפי שלושה ואף ארבעה, אין זה מפתיע שרבים נמשכים לעבודה בתעשייה. מאחר שהאקדמיה אינה יכולה להתחרות בשכר המוצע בתעשייה, עליה להדגיש את יתרונותיה הייחודיים: חופש מחקר, פיתוח כישורי מחקר מעמיקים והקניית יכולות שיסייעו לבוגרים בקידום התעשייה בעתיד. בד בבד חשוב לעדכן כל העת את גובה המלגות.

יחס סטודנטים-סגל

היחס בין מספר הסטודנטים לתואר ראשון למספר אנשי הסגל הבכיר בתחום ההנדסה והאדריכלות ובתחום המתמטיקה, הסטטיסטיקה ומדעי המחשב הוא מהגבוהים שבתחומי המדע, וקרוב רק ליחס הקיים בתחומי מדעי החברה (איור 55). ערכים גבוהים אלה נקשרים לגידול במספר הסטודנטים במקצועות אלה בשנים האחרונות, לעומת גידול איטי במספר אנשי הסגל הבכיר (ראו איור 5 בפרק "תמונת מצב"). כדי להתמודד עם מספרם הגבוה של הסטודנטים, בפרט בתחום ההנדסה, בחלק ניכר מהקורסים לתואר הראשון לא מלמדים חברי סגל אקדמי בכיר, אלא חברי סגל אקדמי אחר כמו מורים מן החוץ, חברי סגל במסלולי הוראה או קורסי שירות ממחלקות אחרות (כגון פיזיקה ומתמטיקה) וגם אנשי תעשייה.

הנתונים באשר למספר אנשי הסגל, למספר הסטודנטים וליחס המספרי שבין שתי קבוצות אלה חשובים לשם מעקב אחר מצב המחקר וההוראה במדעים המדויקים. נתונים אלה רלוונטיים במיוחד גם לקשר שבין מערכת ההשכלה הגבוהה והמחקר לבין תעשיית ההייטק בישראל.



איור 55. יחס סטודנטים-סגל בכיר באוניברסיטאות בתחומי המדעים המדויקים לפי תואר (2023/24-2014/15)
 הנתונים אינם כוללים את האוניברסיטה הפתוחה.
 מקור: עיבוד מנתוני הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה

מימון ותקצוב

כפי שמוצג באיורים 24 ו-25 בפרק "תמונת מצב", במסלול המענקים האישיים של הקרן הלאומית למדע במחזור ההגשה לשנת 2024 אושרו מענקים חדשים לחוקרים במדעים המדויקים בסכום כולל של כ-53.9 מיליון ש"ח, לרוב לתקופה של 3-4 שנים. סכום זה הוא כ-37% מהתקציב השנתי הכולל למענקים חדשים שאושרו באותה שנה. המענק השנתי הממוצע לחוקר במדעים המדויקים במסלול זה היה במחזור 2024 כ-250 אלף ש"ח, בדומה לרמות הממוצעות במחזורים הקודמים.

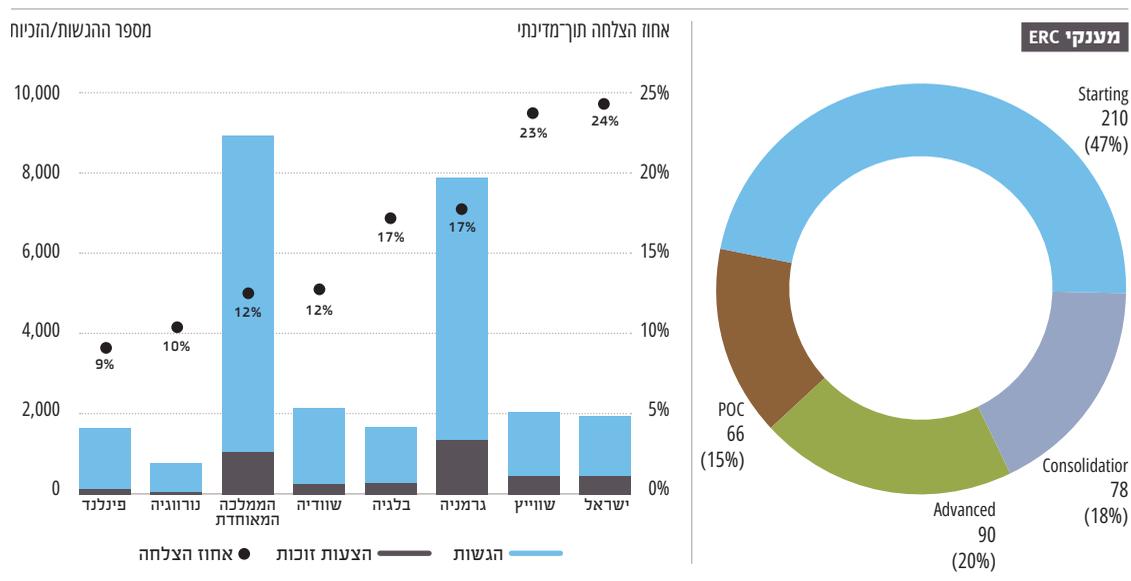
כפי שעולה מאיור 26 בפרק "תמונת מצב", הדרישה למענקי מחקר בקרב חוקרים במדעים המדויקים כמעט הוכפלה בעשרים השנים האחרונות: בשנת 2004 הוגשו 348 בקשות למסלול המענקים האישיים, לעומת 627 בקשות בשנת 2024. בד בבד חלה ירידה מסוימת בשיעור ההצלחה במסלול זה, והוא עמד בשנת 2024 על כ-33%.

חשוב לציין שבחלק מהתחומים גובה מענקי המחקר הקיימים, ובפרט מענקי ISF, נמוך במידה ניכרת מהנדרש כיום כדי לקיים מחקר איכותי ורחב היקף. לנוכח העלייה המתמשכת בעלויות המחקר והעסקת כוח האדם חוקרים רבים מתקשים לממש את הפוטנציאל המדעי שלהם במסגרת התקציב הקיים. מצב זה פוגע ביכולת של מערכת המחקר בישראל להתחרות ברמה הבין-לאומית, בייחוד בתחומים עתירי משאבים. לנוכח המגבלות התקציביות הנוכחיות יש לבחון מה המשמעות של העלאת גובה המענק על חשבון ירידה בשיעור הזוכים.

אפיק מימון חשוב נוסף למחקר הבסיסי בישראל הוא תוכנית המחקר והפיתוח של האיחוד האירופי, שגולת הכותרת שלה היא מענקי מועצת המחקר האירופית (ERC). מענקים אלו נחשבים ליוקרתיים במיוחד, בין היתר בשל היקפם הכספי החריג – כמה מיליוני שקלים לכל מענק – ובשל היותם סמן למצוינות מדעית, לשיתופי פעולה בין-לאומיים ולהשתייכות לקהילה האקדמית המובילה בעולם.

כפי שמוצג באיור 56, מאז החלה התוכנית בשנת 2007 ועד לשנת 2024 זכו 444 חוקרים ישראלים מענפי המדעים המדויקים וההנדסה במענקי ERC. נתון זה מציב את ישראל במקום השמיני בהיקף הצלחתה היחסית בתוכנית מתוך כלל המדינות המשתתפות (איור 32). כאשר משווים את ההצלחה היחסית של ישראל לעומת מדינות אירופיות עם עצימות מדעית גבוהה (זכויות מתוך הגשות של כל מדינה) – לישראל שיעור הצלחה הגבוה ביותר, כ-24% משיעור ההגשות הישראליות בתחומים אלה (איור 56). בהתחשב בגודלה של ישראל לעומת מדינות מרכזיות באירופה, נתון זה הוא עדות למצוינותם המחקרית של חוקריה בתחומים אלה. כ-47% מכל הזכויות יועדו למענקים המיועדים לחוקרים צעירים (Starting) (איור 56).

בעת הזו יש לציין את האיום הכפול על המשך השתתפותה של ישראל בתוכנית: הן מצד מגמות מדיניות פנים-ישראליות הן בשל עמדות ביקורתיות כלפי ישראל מצד גורמים באיחוד האירופי, ביחוד לנוכח המלחמה והחרמות שהתלוו אליה. המשך ההשתתפות בתוכנית אינו רק עניין תקציבי חיוני למחקר מתקדם, אלא גם מקור חשוב ליוקרה מדעית ולחשיפה בין-לאומית.



איור 56. הצעות המחקר, הזכויות ואחוזי הצלחה במענקי ERC של ישראל במדעים המדויקים לעומת מדינות ייחוס בשנים 2007-2024. התפלגות הזכויות לפי סוגי המענקים. ההצלחה מחושבת ביחס למספר ההגשות בכל מדינה.

מקור: עיבוד לנתוני ERC dashboard

מדדי מצוינות מבוססי תוכן ופרוטוקול DORA

המערכת האקדמית מצריכה בחינה תכופה של מצוינות מחקרית בהקשרים שונים: מופעים שונים של מצוינות מדעית נבחנים בידי גופים שונים, הנוקטים שיטות הערכה מגוונות. לשם קבלת תואר אקדמי, קבלה למשרה, קידום וקביעות וכיו"ב נבחנות הן התפוקה המחקרית (מאמר, ספר, תזת מחקר, הצעת מחקר למענק) הן המצוינות המחקרית האישית. תכלית המחקר היא להשפיע השפעה בעלת ערך, ולחשוף תובנות חדשות שיתרמו לקהילה האקדמית ולאנושות כולה. מכאן שעל הערכת המצוינות לאמוד עד כמה המחקר והחוקר הטביעו חותמם. אולם לעיתים תכופות מידת ההשפעה יכולה להימדד רק בטווח הארוך, ועל כן נדרשת הערכה של פוטנציאל ההשפעה ושל איכות המחקר לגופו.

בתחומי ידע רבים, בייחוד במדעים המדויקים ובמדעי הטבע, המחקר והחוקר מוערכים על פי רוב במדדים כמותיים, כגון H-index ו-Impact Factor, המשקפים בעיקר את ההצלחה בפרסום בכתבי עת מדעיים. האטרקטיביות של מדדים אלו נובעת מהקלות היחסית שבה אפשר להשוות בעזרתם בין מועמדים שונים. החיסרון הוא שהם מודדים היבטים צרים של מצוינות, שלעיתים יש להם קשר עקיף בלבד או אף מוטה למצוינות החוקר והמחקר.

מדדים כמותיים אלו מבוססים על נוסחאות שונות, שמשקללות מספר פרסומים ומספר ציטוטים בפרקי זמן מוגדרים. אולם ההתפלגות של הציטוטים אינה אחידה. מרבית הציטוטים הם של מספר קטן של מאמרים, ניכרת הטיה לפרסומי סקירה (review), ואין שקלול של הובלת המחקר לעומת שותפות פסיבית. כל אלו מעוותים את המדד הכללי. מדד H-index מושפע לרוב מוותק החוקר ומגודל קהילת המחקר שלו. כתבי העת עושים מניפולציות שונות כדי להעלות את מדד Impact Factor שלהם, למשל בפרסום פרסומי סקירה, שזוכים באופן טבעי לציטוטים רבים יותר, או בשליטה בתזמון הפרסומים. זאת ועוד, במקרים רבים הן האלגוריתמים הן הנתונים שעליהם מבוסס מדד Impact Factor אינם שקופים לקהילה המדעית. ההעדפה לפרסם בכתבי עת מסוימים יכולה לגרום לעיסוק בנושאים פופולריים יותר ולפגוע במחקרים חדשניים אך נישתיים. ככלל, המדדים הכמותיים אדישים לתוכן ולהקשר ואינם מעידים בהכרח על איכות המחקר.

בחלק מהאוניברסיטאות בישראל ניכר ניסיון לאמץ התייחסות איכותנית למחקר ולחוקר, אולם השימוש במדדים שאינם מביאים בחשבון את התוכן שכיח בכל שדרת הממסד האקדמי, החל בקבלה לתארים וכלה בוועדות העסקה, ועדות קביעות וקידום חברי סגל וועדות פרסים והצטיינות למיניהן. המדדים הכמותיים, משום פשטות השימוש בהם, משמשים גם את הגופים המתקצבים, ואף עומדים בבסיס התקצוב של ות"ת והסכם השכר החדש, אשר מתגמל את החוקרים בהסתמך עליהם. החשש הוא ששימוש במדדים אלו יפגע עם הזמן באקדמיה ובאיכותה, ושחברי סגל צעירים יבחרו שלא לעסוק במחקר שדורש זמן, נטילת סיכון והתעמתויות עם אופנות או עם מוסכמות בעולם המדע.

[הצהרת DORA](#) (The San Francisco Declaration on Research Assessment) היא יוזמה בין-לאומית ששמה לה למטרה להתמודד עם הקושי בהערכת איכות המחקר.⁷¹ היוזמה הושקה בשנת 2012 בכינוס השנתי של החברה האמריקאית לביולוגיה של התא (Cell Biology) ונוסחה בידי חוקרים, נציגי מוסדות מחקר ועורכים של כתבי עת. במהלך השנים הצטרפו אליה יותר מ-25 אלף חותמים ברחבי העולם, ובכלל זה מאות מוסדות להשכלה גבוהה, סוכנויות מימון, כתבי עת וממשלות. ההצהרה מותחת ביקורת על השימוש המתרחב במדדים כמותיים כמו Impact Factor ו-H-index להערכת מצוינות מדעית. מלבד הדגשת העיוותים, ההצהרה ממליצה לגופים שונים באקדמיה שלא להסתמך על מדדים אלה ולאמץ כלי מדידה חלופיים. במרוצת הזמן התווספה להצהרה מעטפת של מחקרים, כלים והמלצות, והיא מופיעה באתר הייעודי של DORA.

להלן סקירה תמציתית של המלצות הצהרת DORA לגורמים שונים במערכת האקדמית:

- **מוסדות המממנים מחקר וקרנות מחקר.**⁷² מוסדות המממנים מחקר וקרנות מחקר יתבקשו להגביר את שקיפות הקריטריונים להערכת מצוינות, להרחיב את המבט מעבר לפרסומים אקדמיים בלבד ולהתחשב בהשפעה החברתית של המחקר ובטכנולוגיה המשמשת בו. ההמלצות כוללות ניסוח של פורמט אחיד של קורות חיים בשילוב אלמנטים נרטיביים המאפשרים למועמד להציג את מחקרו בהקשרו הרחב; הגבלת רשימת הפרסומים ופירוט התרומה המחקרית שהייתה לכל פרסום על פי תפיסתו של המועמד; פיתוח נהלים ונוסחים ברורים למכתבי המלצה; והימנעות מהסתמכות בלעדית על Impact Factor בהערכות.
- **מוסדות אקדמיים.**⁷³ מוסדות אקדמיים יתבקשו לחתום על הצהרת DORA ולאמץ את עקרונותיה מתוך הגדרה ברורה וגלויה של הקריטריונים להעסקה ולקידום אקדמי. ההמלצות כוללות גם פיתוח נהלים ונוסחים ברורים למכתבי המלצה; הימנעות מהסתמכות בלעדית על Impact Factor ו-H-index בהערכות; הגבלת רשימת הפרסומים ופירוט התרומה המחקרית שהייתה לכל פרסום על פי תפיסתו של המועמד; הבלטה ואזכור של עקרונות הצהרת DORA בכל פורום המעריך מצוינות, כגון ועדות פרס, העסקה וקידום; הדגשת תוכן המחקר מתוך הצנעת השם של כתב העת בהודעות לעיתונות וביחסי ציבור שנועדו להנגשת מדע.
- **חוקרים.** חוקרים יתבקשו להימנע מהצגת מדד Impact Factor של פרסום מחקריהם בוועדות שיפוט, ולהקפיד על מתן הכרה הוגנת למחקרים מקוריים בציטוטם הישיר ולא רק דרך פרסומי סקירה. ההמלצות כוללות חינוך והטמעה של מגוון עקרונות להערכת מדע ובהם: דגש על תוכן הפרסום ולא על הבמה שבה פורסם; שימוש באמצעים נוספים לשם יצירת השפעה מרבית, כגון פרסום באתרים פתוחים; השתתפות והצגה בכינוסים מדעיים, בסמינרים ובהרצאות; וקידום שיתופי פעולה.

Adler, R., Ewing, J., & Taylor, P. (2008). Joint committee on quantitative assessment of research: Citation statistics., *The Australian Mathematical Society Gazette*, 35(3), 166–188. 71

In [Science business](#), [The Dutch Research Council \(NWO\)](#), [biorxiv](#), [Dutch public knowledge](#). 72

In [Research Evaluation](#), [Luxembourg National Research Fund](#), [The Royal Society](#), [DORA indicators guidance](#), [DORA](#). 73

• **כתבי עת.** כתבי עת יתבקשו להפסיק לפרסם את מדד Impact Factor ולפרסם מגוון רחב יותר של מדדי השפעה חלופיים. העורכים הראשיים של כתבי העת יתבקשו לעודד ציטוט של מאמרים מקוריים, ולא רק של מאמרי סקירה, ולהסיר את המגבלות על מספר המקורות שאפשר לצטט.

בישראל חתמו על ההצהרה שלושה גופים מרכזיים: המועצה המדעית של מכון ויצמן למדע, הטכניון והקרן הלאומית למדע. עם זאת החתימה היא רק הצהרת כוונות סמלית, ונדרשת עבודת המשך רבה ליישום העקרונות בפועל. יש צורך בהטמעה עמוקה של העקרונות בתרבות האקדמית ובחינוך הדור הבא של החוקרים. חשוב במיוחד להתאים את העקרונות למאפיינים הייחודיים של המערכת האקדמית בישראל.

היישום בפועל של עקרונות DORA מציב כמה אתגרים בולטים: הערכה איכותית של מחקר דורשת זמן ומאמץ רב יותר מהסתמכות על מדדים כמותיים פשוטים,⁷⁴ ומערכת התמריצים של ות"ת באקדמיה עדיין מעודדת שימוש במדדים כמותיים; נדרש שינוי תרבותי עמוק במערכת האקדמית, ונדרשת התאמה של העקרונות לתחומי מחקר בעלי מאפיינים ייחודיים של פרסום והערכת מחקר.

בפרט יש מקום להמליץ על יישום עקרונות אלה בוועדות מינויים במוסדות האקדמיים, הנושאות באחריות להחלטות הנוגעות לקביעות ולקידום. אפשר להנחות ועדות אלו לאמץ גישות של הערכה המבוססת על תוכן, למשל לבקש מהממליצים להתייחס לתרומתו המחקרית של המועמד דרך דיון בכמה עבודות מרכזיות שלו, בדגש על מידת החידוש וההשפעה שבהן. זאת ועוד, כאשר מוקמות ועדות מקצועיות חיצוניות, יש לחייב אותן להתייחס בפרוטוקול ישירות לחשיבות ולחידוש שבעבודות מסוימות. חוות דעת מקצועיות שאין בהן מרכיב זה, אינן יכולות לשמש בסיס הולם להחלטה.

הטמעה מוצלחת של עקרונות DORA דורשת מחויבות ארוכת טווח מצד המוסדות האקדמיים, הקרנות המממנות, גופי המימון הלאומיים והחוקרים עצמם. זהו תהליך מורכב, אך חיוני להבטחתה של הערכה הוגנת, אחראית ומעמיקה של מצוינות מדעית.

דרכי יישום של עקרונות DORA בקרן הלאומית למדע ובמכון ויצמן למדע

הקרן הלאומית למדע (ISF) אימצה לפני כשש שנים את הצהרת DORA. סמלילה (הלוגו שלה) מופיע בהבלטה ומקושר בעמוד הבית של הקרן, ועקרונותיה משולבים כיום בתהליכי העבודה השוטפים של הקרן. המשמעות המעשית היא שבהערכת הצעות מחקר אין התייחסות למדדים ביבליומטריים כמו Impact factor או H-Index. הקרן מדגישה באופן עקבי את חשיבות התוכן האיכותני של הערכות הסוקרים, ולא את הדירוגים המספריים. למרות זאת הקרן מכירה בכך שאינה יכולה למנוע מסוקרים להביא בחשבון בהערכתם האישית מדדים כמותיים.

בתוכניות השונות של הקרן ניכרת הבחנה בין מענקים רגילים, המתמקדים בהצעת המחקר עצמה, לבין מענקים מיוחדים (כגון תוכנית מפ"ץ), שבהם נבחן גם מעמד החוקר עצמו בקהילת המחקר. עם זאת גם כאשר ההערכה מתייחסת לחוקר, אין דרישה רשמית להתייחס למדדים כמותיים. יתרה מכך, הקרן פיתחה גישות חדשניות ברוח DORA, כגון בקשת סרטוני וידאו מחוקרים בתוכניות מסוימות כדי שיוכלו להציג את ההקשר המחקרי באופן אישי ומעמיק שמעבר למדדים כמותיים. עם זאת הקרן עדיין לא אימצה פורמט של אלמנטים נרטיביים בקורות החיים של מועמדיה.

74 יש לציין כי בעידן הבינה המלאכותית ייתכן שיימצאו דרכים חדשניות להתמודד עם האתגרים שהוזכרו.

המועצה המדעית של מכון ויצמן למדע (המקבילה לסנאט באוניברסיטאות) אימצה ב-13 בינואר 2021 את הצהרת DORA כמסמך מתווה בהערכת מצוינות אקדמית. את הצעת ההחלטה גיבשה ועדה שדנה במתווה למימוש המלצות ההצהרה והתאמתן לאופי הפעולה במכון. הוועדה הגישה מסמך המלצות, ובהן: הקמת ועדה עומדת מטעם המועצה המדעית לקידום יישום הצהרת DORA במכון; שיקוף עקרונות DORA במחלקת תקשורת ויחסי ציבור במכון; הסברת עקרונות DORA לוועדות האמונות על קליטת חברי סגל חדשים, קידום, הערכה, ביקורת פנימית ופרסים במכון.

בעקבות אימוץ הצעת ההחלטה בידי המועצה המדעית הוקמה ועדת DORA ליישום ההמלצות. הוועדה בחנה את פעילות גופי ההערכה השונים במכון ויידאה כי עקרונות DORA משתקפים בהם ומובאים לידיעת כל חבריהם כאשר הם דנים בהערכה, במועמדויות ובקידומים במכון. מסמכי העבודה והמידע שאספה הוועדה הונגשו לציבור מכון ויצמן למדע באתר פנימי ייעודי שבאתר המזכירות האקדמית. הוועדה סיימה את עבודתה כשלוש שנים לאחר הקמתה. הטמעת עקרונות DORA והשינוי התרבותי הנדרש למימושם הם תהליכים ארוכי טווח, שהחלו עם האימוץ הרשמי של ההצהרה והקמת ועדות ההתוויה והיישום, אך ימשיכו להתפתח גם לאחר סיום עבודתן.

לסיכום, מלבד העיוותים הנגרמים מהסתמכות בלעדית על כלי הערכה ביבולומטריים כמותיים, יש לכלי הערכה אלה גם השפעה ישירה ניכרת על אופי המחקר המתבצע במוסדות המחקר. היצמדות למקסום מדדים אלו עלולה לגרום ברבות הזמן לניוון במגוון תחומי המחקר ובחדשנות המתודולוגית. על כן על כלל השחקנים בזירה האקדמית הישראלית – גורמי מימון לאומיים, קרנות מימון, מוסדות מחקר וחוקרים – לתת את הדעת על הכלים המשמשים אותם להערכת מצוינות אקדמית מחקרית. על המדדים לבחון את המחקר בחינה מלאה ולהתחשב בהקשרו הרחב, במגוון תוצריו, בחדשנות ובפוטנציאל הטמון בו להטבעת חותם בקרב קהילת המחקר והאנושות כולה. חתימה על הצהרת DORA היא צעד סמלי חשוב, אך צעד מהותי ומאתגר מכך הוא אימוץ והטמעה של הכלים והנהלים שהצהרה מקדמת בשגרת הפעילות ובשיח.

קשרי אקדמיה-תעשייה: פרדיגמות משתנות, אתגרים והזדמנויות

הדיון באופי הקשרים בין האוניברסיטאות לתעשייה החל כבר במאה הקודמת. המונח העברת טכנולוגיה (TT – Technology Transfer) מתייחס להעברת ידע בעל פוטנציאל יישומי מהאקדמיה אל התעשייה באופן שמתורגם למוצרים או לשירותים בעלי ערך כלכלי.

עם השנים התלבטו האוניברסיטאות באשר למודל הראוי לניהול תחום זה – הן מן ההיבטים הארגוניים הן מן ההיבטים הכלכליים.⁷⁵ בהדרגה הוקמו סמוך לאוניברסיטאות חברות מסחור ידע, שתפקידן לרכז את הפעילות הארגונית והעסקית של העברת הטכנולוגיה. חברות אלו חולקות את הרווחים עם החוקרים ועם האוניברסיטאות, לפי מודלים עסקיים שונים שנקבעו בכל מוסד. הקמתן נבעה מהבנה אסטרטגית באשר לחשיבות הטמונה בהעברה יעילה של ידע יישומי לתעשייה הישראלית.

בשנים האחרונות אנו עדים לתופעה נוספת, שבה ידע חדש ומשמעותי נוצר בתוך התעשייה בחברות

⁷⁵ קשרי אוניברסיטה-תעשייה. ד"ר וחשבונו של הוועדה לקשרי אוניברסיטה-תעשייה של האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים והוועדה לתכנון ולתקצוב (ות"ת). של המועצה להשכלה גבוהה, ירושלים 2005.

עתירות ידע. חברות אלו לא רק צורכות ידע אקדמי, אלא מפתחות ידע חדש בעל פוטנציאל כלכלי רב. הגבול בין מדע בסיסי למדע יישומי מיטשטש, והמרחק בין פיתוח רעיון תאורטי לבין יישומו בפועל מתקצר, בעיקר בתחומים כמו טכנולוגיות קוונטיות, מדעי המחשב ובינה מלאכותית.

טשטוש הגבולות תורם להאצת חדשנות, אך גם מעורר אתגר הנוגע לשימור ההון האנושי באקדמיה. חוקרים וסטודנטים מצטיינים נמשכים לתעשייה, המציעה תנאי שכר ותמריצים שקשה להתחרות בהם, לצד תשתיות מחקר מפותחות שלעיתים מאפשרות גם מחקר בסיסי. מעבר זה מעלה שאלות מהותיות בדבר עתיד המחקר האקדמי בישראל, שימור המצוינות והצורך לאזן בין שני העולמות שכן גם התעשייה נזקקת להכשרה אקדמית של כוח אדם איכותי ומסתכנת בגדיעת הענף שעליו היא נסמכת.

החזון המוצע הוא עיצוב מערכת שבה מתקיימת סינרגיה אמיתית: האקדמיה שומרת על חוזקה ועל ייעודה במחקר הבסיסי, אך נהנית מגישה לתשתיות המתקדמות של התעשייה. כך מתקיימת זרימה דו-כיוונית של ידע, רעיונות וכוח אדם, והתעשייה מצידה מרוויחה גישה למחקרים פורצי דרך ולהכשרת הון אנושי איכותי. זוהי לא רק שותפות כלכלית – אלא תנאי לחיזוק המערכת כולה ולשימור ההובלה של ישראל במדע ובחדשנות.

ואכן, מוסדות האקדמיה בישראל מתאימים את עצמם למציאות זו: לצד פעילות חברות המסחור, מוקמות כיום חממות טכנולוגיות פנימיות המסייעות לחוקרים לתרגם את מחקריהם לידע יישומי. כמו כן ממוסדים תפקידי סגני הנשיא לקשרי מחקר ותעשייה. צעדים אלו מבטאים תנועה מתמשכת לחיזוק הקשרים עם המגזר היישומי ולפתיחות לשיתופי פעולה אסטרטגיים.

להלן תוצג תמונת המצב העדכנית, כפי שעלתה בשיחות עם נציגי כלל האוניברסיטאות בישראל – לרבות דקני המדעים המדויקים, סגני נשיא למחקר ונושאי תפקידים נוספים – בדגש על אתגרי מסחור הידע וניהול ההון האנושי.

חברות מסחור כגשר בין מחקר בסיסי ליישום מסחרי

הקמת חברות מסחור באוניברסיטאות בישראל החלה בסוף שנות ה-50 בשל הבנת התרומה החיונית של המדע להתפתחות התעשייה ולהתקדמות החברה הישראלית בכללותה. כיום קיימות עשר חברות מסחור לצד האוניברסיטאות וכן חברות מסחור לצד מכללות ומכוני מחקר. במרבית המוסדות חברות המסחור מתנהלות כחברות כלכליות לכל דבר. הצלחתן נובעת ממקומן הייחודי בנקודת הממשק בין האקדמיה לתעשייה, המאפשר להן לטפח רעיונות שנוצרו מפיתוחים אקדמיים באוניברסיטאות, במכוני המחקר, במכללות ובבתי החולים ולהביא לידי מיצוי את הפוטנציאל היישומי על ידי רישום פטנטים והקמת חברות הזנק.⁷⁶ הצלחתן היא סמן להצלחת המוסד האקדמי.

תפקודן של חברות המסחור ותרבות הניהול בהן משתנים מאוניברסיטה לאוניברסיטה. עם זאת בשיחות עם בעלי תפקידים באוניברסיטאות עלו שוב ושוב כמה קשיים. קושי מרכזי אחד נוגע לציפיות לא ריאליות ממודל התמלוגים, הנובעות כפי הנראה מההצלחה החריגה של עסקת ה"קופקסון".⁷⁷ ציפיות אלה הובילו את חברות המסחור לרצות לחלוש על כל הפטנטים והתחומים בבת אחת, מחשש לאבד את עסקת

⁷⁶ חברות המסחור חולשות על תחומים נוספים בקשר שבין חוקרי האוניברסיטה לתעשייה, למשל על מתן שירותים של חוקרים לחברות מסחריות.

⁷⁷ ה"קופקסון" הוא כינויה של תרופה פורצת דרך לטיפול בעיכוב התסמינים של טרשת נפוצה. את התרופה פיתחו במשך 30 שנה שלושה חוקרים ממכון ויצמן למדע. בעקבות הצלחת מסחור ה"קופקסון" קיבלו מפתחי התרופה ומכון ויצמן למדע במשך שנים תגמולים חריגים בגובהם.

ה"קופקסון" הבאה. אולם אין להן יכולת של ממש לנהל את כל הרעיונות והפטנטים הן מההיבט המנהלתי והמקצועי הן מההיבט התקציבי.⁷⁸ מגבלות אלו מעוררות תשכול בקרב החוקרים המעוניינים בצד היישומי.

נוסף על כך לחלק מהחוקרים יש נכונות מעטה בלבד לחשוף את תוצאות מחקריהם ולשתף פעולה עם חברות המסחר, מכמה סיבות מרכזיות: לעיתים הם מתעניינים בעיקר במחקר בסיסי ולא בקידומו ליישום מסחרי; במקרים רבים הם אינם מבינים כיצד לתרגם את דרך העשייה לפטנט או ליישום מעשי, ואין להם היכרות עמוקה דייה עם צרכים טכנולוגיים ותעשייתיים; הם חסרי הבנה בסיסית באשר לעיתוי של רישום פטנט. כמו כן תהליך רישום הפטנט דורש תשומות רבות מהחוקרים, ואלו מפריעות להם במחקרם. ולבסוף, תהליכי רישום של פטנטים הם ארוכים ומייגעים וגורמים לעיכובים בפרסומים אקדמיים, ועיכובים אלו עלולים להביא לעיכוב בהעלאה בדרגה. כמו כן חברות הזנק רבות אינן מבוססות על פטנט רשמי, אלא על סוד מסחרי. לפיכך עלול להתקיים ניגוד עניינים מובנה בין קידום אקדמי, המחייב פרסום של תוצרי המחקר, לבין קידום מסחרי, המגביל פרסום שכזה.

תמונת מצב זו הובילה לשלוש תובנות באשר לשיפורים הנדרשים לייעול תהליך מסחר הידע:

- **הצורך בשינוי פרדיגמטי בהגדרת ייעודן של חברות המסחר.** נציגי האוניברסיטאות הציגו את הקונפליקט המובנה בין מבנה חברות המסחר כגופים כלכליים (חברות בע"מ) לבין תפקידן האקדמי והציבורי. כאשר החברה נדרשת להציג רווחים, נוצרת לעיתים מתיחות בינה ובין חוקרים וחברי סגל, בייחוד כאשר הצלחה מחקרית אינה מתורגמת ישירות להכנסות. זאת ועוד, הצורך להציג רווחים מערים מכשולים על העברת ידע וקניין רוחני לחברות מסחריות, מאחר שחברות המסחר נאבקות להיאחז בזכויותיהן במחקר המועבר. נוכחותה של חברת המסחר כגלגל חמישי מקשה לעיתים על חברות הזנק לגייס הון סיכון לקידום טכנולוגיות שיסודן באוניברסיטאות המחקר, ומרתיעה אותן מליישם אותן.

מקרה הקופקסון – המוצלח מאוד, אך גם הייחודי מאוד – הביא לעיוות במערכת ולהפיכת הרווחיות למטרת-על של חברות המסחר. אולם חברות המסחר אינן מביאות רווחים גבוהים לאוניברסיטאות,⁷⁹ ובמקרה הטוב מגיעות לאיזון תקציבי.⁸⁰ יש למדוד את הצלחתן של חברות המסחר במדדים חלופיים, כגון מקומות עבודה שנוצרו, כספים שגויסו, והכנסות ממיסים שמקורן בידע אקדמי. הוועדה התרשמה אפוא שיש לשקול מחדש את המודל העסקי של החברות ולהביא לכך שישקף טוב יותר את תפקידן האמיתי – גישור, תמיכה והעברת ידע, ולא דווקא הפקת רווחים.

שינוי זה בהגדרת הייעוד משקף מהפך תפיסתי באשר למסחר ידע: לא עוד אקט כלכלי גרידא שנמדד ברווחים למוסד עצמו, אלא מערכת תמיכה רחבה שמטרתה לתרגם ידע מחקרי לתרומה במובנה הרחב ביותר – מוצר, טכנולוגיה, שירות, תעסוקה או תרומה חברתית. שינוי התפיסה העמוק ירחיב את תפקידיהן של חברות המסחר מעבר לפעילות כלכלית, ויהפוך אותן לגורם אסטרטגי חשוב בגיבוש זהותם של מוסדות המחקר בישראל ובחיזוק תרומתה של האקדמיה לכלכלה ולחברה.

- **הקמת יחידות אקדמיות וחממות טכנולוגיות לזיהוי ולמיצוי הפוטנציאל היישומי.** מתוך היכרות עם

78 העברת ידע וטכנולוגיה אקדמיה תעשייה: חישוב מסלול מחדש. מוסד שמואל נאמן, אפריל 2019.

79 הודעה לתקשורת של הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, סקר חברות למסחר ידע בישראל 2022-2023 דיווחים על גילויים להמצאות פטנטים, הסכמי רישיון, הכנסות והקמת חברות הזנק, 23 ינואר 2025. סקרים דומים נערכו החל משנת 2019.

80 מוסד שמואל נאמן, 2019, העברת ידע וטכנולוגיה אקדמיה תעשייה: חישוב מסלול מחדש.

הקושי לרתום חוקרים להעברת ידע ליישום מחוץ למחקר, וכדי לשפר את ביצועיהן של חברות המסחור, הוקמו בכמה מוסדות יחידות ייעודיות וחממות טכנולוגיות. אחת מהן היא יחידת BINA במכון ויצמן למדע – יחידה אקדמית שמטרתה לשפר את היעילות של חברת המסחור ולהציב את המוסד בחזית הפיתוחים היישומיים, בלי להתפשר על איכות המדע הבסיסי. BINA מתמקדת בעבודה מעמיקה עם החוקרים לזיהוי הפוטנציאל היישומי במחקריהם ומשמשת חממה טכנולוגית בגבול שבין האקדמיה לתעשייה. היחידה פועלת להקטנת החסמים בכמה דרכים: תמיכה מקצועית בחוקרים, יצירת פורומים שמחברים בין חוקרים לבעיות בשטח, והכשרת החוקרים לעבודה עם חברות המסחור. המודל של BINA כיחידה אקדמית המתבססת על כספים חיצוניים, מאפשר לה עצמאות מחשבתית וגמישות רבה יותר בפיתוח רעיונות חדשניים. אוניברסיטת בראילן הקימה את Unbox, גוף המתמקד בתיקוף לקוחות ובפיתוח עסקי ופונה במיוחד לסטודנטים לתארים מתקדמים. באוניברסיטה העברית קם מרכז אספיר ללימוד ויזמות, המציע קורסים והשתלמויות לסטודנטים ולחברי סגל, ובהם קורסים דיגיטליים ותוכניות המשולבות בתוכניות הלימודים. המרכז מפעיל תוכניות חממות קטנות לשלבים מוקדמים של פיתוחים מסחריים, כולל תחרויות ומימון ראשוני. בטכניון הוקם The Hub, גוף העוסק בחינוך ליזמות ומפעיל מגוון תוכניות, מקורס קצר של שעה ועד תוכניות ארוכות טווח כמו Startup MBA. מה-Hub עצמו הוקמו שתיים-שלוש חברות בשנה. על אף השירות הניתן במרכז מטעם הטכניון, חברות אלו אינן מבוססות על מחקר אקדמי, ולטכניון אין החזקות בהן.

- **שינויים והתאמות בהתנהלות האוניברסיטאות ביחסי אקדמיה-תעשייה.** כמה אוניברסיטאות החליטו למסד תפקידים ייעודיים לניהול קשרי תעשייה לצד תפקיד סגן הנשיא למחקר, כדי לתת מענה ממוקד לצרכים של המחקר הבסיסי והיישומי מול התעשייה. יחידה ייעודית לקשרי תעשייה מאגדת תחתיה את שיתופי הפעולה עם חברות, עם הרשות לחדשנות ועם יוזמות עסקיות. האוניברסיטה העברית, לדוגמה, ביצעה שינוי תפיסתי בניהול הפטנטים. מאחר שרישום הפטנטים מצריך השקעה יקרה של 3–4 מיליוני ש"ח בשנה, ומאחר שמספר הפטנטים אינו מדד חשוב להצלחה, האוניברסיטה ממקדת את מאמציה בכ־60 פטנטים בשנה, ובהם מושקעים משאבים ממשיים. השינוי מסמן מעבר מתפיסה כמותית של מסחור לתפיסה איכותית וממוקדת, המבקשת למקסם את ההשפעה של הידע המחקרי, ולא את מספר ההגשות בלבד. כמו כן ההצטמצמות לכמה פרויקטים משחררת חוקרים אחרים לקדם את רעיונותיהם מחוץ לאוניברסיטה.

זאת ועוד, אוניברסיטאות מקדמות תשתיות לחברות הזנק בתחילת דרכן, כגון משרדים, מעבדות, ליווי ושירותי תשתית מסובסדים, פארקי מדע סמוך למוסדות המחקר ושותפות ברובעי חדשנות עירוניים.

הון אנושי, תקצוב וחלוקת תפקידים בין האקדמיה לתעשייה

המתח בין מחקר בסיסי באקדמיה לבין מחקר יישומי בתעשייה מהווה אתגר מתמשך עבור האקדמיה, שמעוניינת לשמור על ההון האנושי שלה. זיהוי החוזקות של האקדמיה לעומת התעשייה, איזון וחלוקת תפקידים מושכלים ביניהן יוכלו למקסם את התרומה של שני המגזרים לחברה ולכלכלה. נציגי האוניברסיטאות סברו כי אין טעם להתחרות בתעשייה עתירת המשאבים, אלא יש להניח לתחומים שבהם הגיע המחקר לבשלות ומרכז הכובד עבר לתעשייה. התעשייה תמשיך לעסוק בתוצרים קיימים ומוצלחים של המחקר באקדמיה, והאקדמיה תמשיך לעסוק במחקר בסיסי, שעשוי להוביל בעתיד לתוצרים נוספים ולחברות נוספות. יש לזכור כי במקרים רבים בסיס ההצלחות של התעשייה נולד במחקר הבסיסי שנערך

סוגיה חשובה נוספת היא ערכם של התואר האקדמי הראשון והתארים המתקדמים. כפי שצוין גם בדוח מצב המדע הקודם,⁸¹ שיווי המשקל בין האקדמיה לתעשייה בנושאים מסוימים מופר בהדרגה. יותר מבעבר התעשייה מושכת סטודנטים כבר בתואר הראשון בכך שהיא מבטיחה להם תנאי שכר משופרים וסיכויים גבוהים יותר למצוא תעסוקה בעתיד. עקב כך ההכשרה שלהם עלולה להיפגע ולהיעצר בשלב מוקדם, והסיכוי שימשיכו לתארים מתקדמים פוחת. הדינמיקה הזו ניכרת במיוחד בתחומים מסוימים, כמו טכנולוגיות קוונטיות ובינה מלאכותית, שבהם האקדמיה מאבדת סטודנטים מצטיינים בקצב מואץ. יש לציין כי האטרקטיביות של התעשייה אינה נובעת אך ורק מפערי השכר, אלא גם מאיכות ומרמת המחקר המתבצע בחברות מובילות, המציע לעיתים אתגר אינטלקטואלי וטכנולוגי הדומה לזה שבאקדמיה, ואף עולה עליו. בטווח הארוך עלולים להיפגע הן רמת המחקר האקדמי הן תהליך יצירת הרעיונות הבסיסיים שיזינו את התעשיות בעתיד. ההתמודדות עם האתגר שבמשיכת תלמידי המחקר לאקדמיה מחייבת חשיבה מחודשת על הממשק בין האקדמיה לתעשייה והתאמת המבנים, התמריצים והמסלולים למציאות הטכנולוגית והכלכלית המשתנה.

עבור תחומי ידע שונים ייתכן שיידרש איזון פרטני ספציפי. בתחום הטכנולוגיות הקוונטיות, למשל, לתעשייה יתרון מובהק בהיבט המכשור, אך לאקדמיה עשוי להיות יתרון בהיבטים של אלגוריתמיקה ושל גיוון תשתיות, הנדרש לפיתוח תהליכים חדשניים לפני אימוצם הטכנולוגי. במענה לאתגר עשויה להתפתח בתחום זה תנועה מחזורית בין האקדמיה לתעשייה, שבה אנשי תעשייה ישובו לאקדמיה בשלבים מסוימים של הקריירה. לעומת זאת בתחום הבינה המלאכותית נראה שהמגמה מורכבת יותר, והאתגר בשימור כישרונות באקדמיה עשוי להיות רב במיוחד ולהימשך לאורך זמן.

אל מול מכלול האתגרים המתוארים מסתמנים כמה כיווני פעולה אפשריים:

- **יצירת מודלים גמישים יותר של שילוב בין עבודה בתעשייה ללימודים מתקדמים** – מסגרות המאפשרות לסטודנטים לעבוד בתעשייה במשרה חלקית, כגון עבודה של יום אחד בשבוע או אפילו חצי שבוע בד בבד עם לימודי תואר שלישי, עשויות להביא לאיזון טוב יותר בין הצרכים הכלכליים וצבירת ניסיון מעשי לבין השאיפות ופיתוח היכולות המחקריות. כמו כן אפשר להציע לסטודנטים מסלולי התמחות בתעשייה בתחומי מחקר ספציפיים.
- **עדכון מערך המלגות והתמיכה הכלכלית בתלמידי מחקר** – גם אם אי אפשר להשוות את השכר באקדמיה לזה שבתעשייה, צמצום הפער עשוי להפוך את החלופה האקדמית למושכת יותר עבור סטודנטים המתלבטים בין המסלולים, בייחוד אלו הנמשכים למחקר בסיסי וארוך טווח. בחו"ל, לדוגמה, יש מודלים שבהם חברות המסחור והתעשייה ממנות דוקטורנטים. הדבר נכון במיוחד לסטודנטים מבריקים מרקע סוציו-אקונומי נמוך.
- **פיתוח שיתופי פעולה הדוקים יותר בין האקדמיה לתעשייה** – מתווים שבהם חברות טכנולוגיה מאפשרות לאנשים מוכשרים להמשיך במסלול אקדמי כדוקטורנטים מתוך שמירת הזיקה לחברה. מתווים אלו יכולים להביא לרווח הדדי. למרות האתגרים המשפטיים הנוגעים לקניין רוחני, נראה כי אפשר למצוא מודלים שיענו על צורכי כל הצדדים. כמו כן אפשר להגיש תשתיות מחקר אקדמי לצורכי פיתוח תהליכים לפני יישומם הממוקד בתעשייה מתוך שילוב חוקרים וסטודנטים.

81 דוח מצב המדע לשנת 2022, האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים.

• **פיתוח מודלי העסקה גמישים עבור חברי סגל** – שיאפשרו שימור כישרונות באקדמיה וגם הבאת ידע תעשייתי לאקדמיה:

• משרות חלקיות משולבות. לדוגמה, קידום מינויים משותפים לאקדמיה ולתעשייה, המאפשרים לחוקרים לשלב בין שני העולמות ותורמים הן למחקר הן לשיפור ההוראה והפיכתה לרלוונטית יותר.

• שבתון הפוך (חוקר מהתעשייה באקדמיה).

• הוראה משותפת, הנחיית סטודנטים משותפת.

• מנגנוני חל"ת מובנים לתנועה דו-כיוונית.

• גמישות בהקדשת זמן למוסד. כיום האוניברסיטאות מגבילות באופן רשמי את היכולת של החוקרים לעבוד עם חברות חיצוניות (בדרך כלל עד יום בשבוע), אך בפועל כל מוסד מתמודד עם הגבלה זו באופן שונה. יש מתח בין הרצון לאפשר גמישות שתמנע בריחת מוחות לתעשייה, לבין הצורך לשמר את החוקרים באקדמיה במחקר ובהוראה.

נציגי האוניברסיטאות הדגישו בשיחות עימם כי יש להכיר בהבדלים המהותיים בין עולם האקדמיה והתעשייה: התעשייה ממנפת תובנות ופיתוחים מחקריים ליצירת ערך כלכלי, בעוד האקדמיה מתמירה משאבים לידע ולחדשנות מדעית. על כן יש לוודא כי המשאבים המוקצים לשיתוף פעולה אסטרטגי בין האקדמיה לבין התעשייה יבואו מתקציבים המיועדים לקידום התעשייה. לפיכך יש לקבל בברכה תקציבים נוספים, המגיעים דרך מנגנונים כגון הרשות לחדשנות, מאחר שהם משאבים תוספתיים המיועדים במהותם לקידום טכנולוגיה ויישומים שאי אפשר להסב את ייעודם ולהשתמש בהם במחקר הבסיסי.

לסיכום, ההתפתחויות הטכנולוגיות המשמעותיות נשענות, לפחות בחלקן, על הישגים של מחקר בסיסי. בעוד שהתעשייה מצטיינת בפיתוח, בייעול וביישום של טכנולוגיות קיימות, פריצות דרך מהותיות – כאלה שמשנות פרדיגמות ולעיתים אף יוצרות שווקים חדשים – נובעות לא פעם מתשתית ידע שנבנתה במחקר הבסיסי. חשוב להבחין בין ראייה קצרת טווח, המתמקדת בתועלות מיידיות, לבין ראייה ארוכת טווח, הרואה במחקר הבסיסי נדבך מרכזי בקדמה הטכנולוגית. בלא השקעה ניכרת ועקבית במחקר מסוג זה עלולה להיפגע היכולת לעצב את עתידה הכלכלי, הטכנולוגי והחברתי של מדינת ישראל בעשורים הקרובים. בריחת מוחות לתעשייה מזמנת אתגרים, אך גם הזדמנויות. משום התחרות הקשה על האקדמיה לחשוב מצד אחד כיצד לייחד את עצמה מהתעשייה, ומצד שני כיצד ליצור שיתופי פעולה סינרגיים שיועילו לה.

המלצות

הערכת מצוינות במחקר

הובלת שינוי תרבותי עמוק בהגדרת מצוינות מחקרית באמצעות מעבר מהסתמכות על מדדים כמותיים (כגון Impact Factor, H-Index) להערכה מבוססת תוכן המדגישה את תרומת המחקר, את חדשנותו ואת השפעתו ארוכת הטווח. **אימוץ עקרונות הצהרת DORA בכל מוסדות המחקר:**

- בוועדות מינוי, קביעות, קידום ופרסים יש לוודא שחברי הוועדה מחויבים לדיון מעמיק ואיכותני בתרומת המועמד על סמך עבודות מייצגות.
- בקרנות המממנות, ובראשן הקרן הלאומית למדע, מומלץ לאמץ פרקטיקות ברוח DORA גם בפורמט ההגשה נוסף על קריטריונים של ההערכה.
- בטווח הארוך בחינה של השפעות השינוי גם על מודל התקצוב של ות"ת, והתאמתו לעקרונות הערכה איכותניים.

שמירה על ההון האנושי

מערכת ההשכלה הגבוהה היא תשתית בעלת חשיבות מכרעת לעתידה המדעי, הכלכלי והחברתי של מדינת ישראל. שמירה על חוקרים מצטיינים והכשרת הדור הבא של מדענים הן משימות אסטרטגיות מהמעלה הראשונה.

- **מעקב שיטתי ומתמשך אחר מגמות המשך הלימודים לתארים מתקדמים** מתוך פילוח לפי תחומי ידע. מעקב זה חיוני להבנה של דינמיקות ייחודיות ושל השפעת התעשייה על מסלולי ההכשרה האקדמיים.
- **עדכון שוטף של גובה המלגות לתלמידי מחקר באופן המשקף את עלויות המחיה**, כדי לצמצם את הפער בין השכר באקדמיה לשכר בתעשייה ולהפוך את המסלול האקדמי לאטרקטיבי יותר.
- **בחינה של פיתוח מסלולים גמישים המשלבים בין לימודים מתקדמים לעבודה חלקית בתעשייה**, בייחוד בתחומים שבהם קיים מחקר יישומי חשוב. מודלים מסוג זה יכולים לאפשר תנועה דו-כיוונית של כוח אדם ולסייע בשימור חוקרים מצטיינים באקדמיה.
- **בחינה של מודלים להעסקה גמישה לאנשי סגל, המאפשרים שילוב של פעילות אקדמית ותפקידים בתעשייה** (כגון מינוי משותף, שבתון הפוך, חל"ת מובנה, הנחיה משותפת של סטודנטים) כדי לשמר כישרונות באקדמיה ולהביא ידע מעשי מהתעשייה.
- **בחינה מחודשת של ההגבלות על עבודה חיצונית לחוקרים** לצד שמירה על מחויבות להוראה ולמחקר.

שיפור קשרי אקדמיה-תעשייה

- **הגדרה מחדש של תפקיד חברות המסחור.** מעבר ממודל צר המתמקד ברווחים, למודל רחב יותר, הרואה בחברות המסחור גופים שתומכים בהעברת ידע ובקידום יוזמות לטובת הציבור והחדשנות במשק.
- **הרחבת המודל של חממות טכנולוגיות** הפועלות בתוך מוסדות המחקר ומסייעות לחוקרים ולסטודנטים בזיהוי הפוטנציאל היישומי של מחקריהם.
- **ייסוד של תפקידים ייעודיים לניהול קשרי תעשייה באוניברסיטאות** (לצד תפקיד סגני הנשיא למחקר) ואיגוד יוזמות קיימות תחת קורת גג מקצועית וממוסדת.
- **הרחבת התשתיות הפיזיות והתמיכה בחברות הזנק בתחילת דרכן** (מעבדות, משרדים, ופארקי מדע) בסמוך למוסדות מחקר מובילים.