



דוח מצב המדע בישראל

תשע"ג | 2013





דוח מצב המדע בישראל

תשע"ג | 2013

הבאה לדפוס: נפתלי ארנון ואביטל בר
עריכת לשון: יהודית ידלין
עיצוב והפקה: סטודיו שמעון שניידר

האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים
רחוב ז'בוטינסקי 43
כיכר אלברט איינשטיין, ירושלים 9104001
טלפון 02-5676222, פקס' 02-5666059

www.academy.ac.il avital@academy.ac.il



התוכן

4	פתח דבר
5	תקציר
8	מבוא
12	פרק א: מפרות המחקר המדעי הישראלי – תרומות בולטות בתחומי הטבע והרוח
28	פרק ב: תשומות ותפוקות של המערכת המדעית
62	פרק ג: מקומן וחלקן של אוניברסיטאות המחקר במערכת המדע והמחקר בישראל
72	פרק ד: דוחות האקדמיה – הסתכלות תחומית
82	פרק ה: קשרי החוץ המדעיים של ישראל
94	פרק ו: כיווני פיתוח של מערכת ההשכלה הגבוהה והמחקר המדעי
104	פרק ז: מסקנות והמלצות
	נספחים:
113	נספח 1: רשימת חברי האקדמיה תשע"ג
115	נספח 2: דיווחים פרטניים שנמסרו על ידי האוניברסיטאות
129	נספח 3: הערכה למצוינות המדעית – פרסי נובל שהוענקו למדענים ולאנשי רוח ישראלים
138	נספח 4: סקירת תרומותיהם של מדענים ישראלים
162	נספח 5: רשימת המכללות האקדמיות

פתח דבר

האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים (להלן "האקדמיה") התבקשה, בעקבות תיקון ל"חוק האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים (תיקון מס' 2), התש"ע-2010, להגיש סקירה תלת-שנתית על מצב המדע והמחקר בישראל, ובלשון החוק:

"דיווח לממשלה ולכנסת

(א) האקדמיה תכין דו"ח שנתי על פעולותיה וכן סקירה תלת-שנתית על מצב המדע והמחקר בישראל בהשוואה למצב המדע והמחקר בעולם; סקירה כאמור יכול שתתייחס לתחומים מדעיים מסוימים כפי שתחליט האקדמיה או כפי שתבקש הממשלה.

(ב) הדו"ח השנתי והסקירה התלת-שנתית כאמור בסעיף קטן (א) יוגשו לשר המדע והטכנולוגיה; ועדת השרים לענייני מדע וטכנולוגיה שקבעה הממשלה, תקיים דיון בדו"ח ובסקירה, סמוך לאחר הגשת כל אחד מהמסמכים האמורים; הממשלה תקיים דיון כאמור בתוך שנה מיום הגשת הדו"ח או הסקירה, לפי העניין.

(ג) הדו"ח השנתי והסקירה התלת-שנתית כאמור בסעיף קטן (א) יוגשו לוועדת המדע והטכנולוגיה של הכנסת; הוועדה תקיים דיון בדו"ח ובסקירה בתוך שנה מיום הגשת כל אחד מהמסמכים האמורים."

לצורך זה מינתה מועצת האקדמיה ועדה שאלה הם חבריה:

פרופ' רות ארנון (יו"ר)

פרופ' עודד אברמסקי

פרופ' יהושע יורטנר

ד"ר מאיר צדוק

פרופ' ב"ז קדר

פרופ' זאב תדמור

מר נפתלי ארנון (יועץ)

גב' סימה דניאל (מרכזת)

חברי הוועדה נפגשו במשך השנה האחרונה ואספו חומר מהארץ ומהעולם. ברצוני להודות לכל חברי האקדמיה על עצתם הטובה ובמיוחד לחברי הוועדה על עבודתם המסורה בהכנת דוח זה.

הדוח מתייחס בעיקר למחקר המדעי, והוא מתבסס על אלה: חומר סטטיסטי ואינפורמטיבי שהתקבל בעיקר מהמולמו"פ, מהות"ת, מהלמ"ס, ממוסד נאמן למחקר מדיניות לאומית ומהמוסדות להשכלה גבוהה; סקירות של חברי האקדמיה; דוחות שפרסמה האקדמיה בתחומים שונים; דוחות של גופים בין-לאומיים ואקדמיות בחו"ל: OECD, האקדמיה הלאומית למדעים של ארצות הברית, "החברה המלכותית" של הממלכה המאוחדת ועוד.

סקירה מקיפה זו מאת גופים שונים ובפריסה רחבה מאפשרת הסתכלות – זו הפעם הראשונה – על "מצב המדע והמחקר בישראל בהשוואה למצב המדע והמחקר בעולם" [לשון החוק].

רות ארנון

נשיאה

האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים
 ירושלים, אב תשע"ג / יולי 2013

תקציר

דוח זה מוגש בעקבות התיקון בחוק האקדמיה, התש"ע-2010, שלפיו על האקדמיה להגיש לממשלה (שר המדע) ולכנסת סקירה תלת-שנתית על מצב המדע והמחקר בישראל בהשוואה למצבו בעולם. כיוון שזו הפעם הראשונה שדוח כזה מוגש, הוחלט לפתוח אותו בפרק המתאר את פרות המדע בישראל. פרק זה מורכב משני חלקים עיקריים – "פרות הסקרנות המדעית" ו"פרות ההגות והמחשבה", וחותרם אותו חלק קצר על "פרות המפגש בין המדע לטכנולוגיה".

פרות הסקרנות המדעית, בתחומי מדעי הטבע, באים לידי ביטוי במבחר הישגים מרשימים במיוחד של מדענים ישראלים בתחומים האלה: במדעי המחשב, שבהם ישראל – בזכות מדעניה – "מככבת" במקום הראשון ונחשבת לפורצת דרך, בעיקר בפיתוחים בתחום העברת מידע והצפנת מידע. בתחום הפיזיקה – חקר אבני היסוד של כל החומר ביקום וזיהוי חלקיקים תת-אטומיים, חקר "החורים השחורים" וכן גילוי הקוואזי-גבישים. בתחום מדעי החיים שפע של תרומות ישראליות: גילוי מערכת האוביקוויטין, פיענוח מבנה הריבוזום, פיתוח תרופת הקופקסון וחקר תופעת האפיגנטיקה, שהיא תחום מדעי חדשני בביולוגיה המודרנית.

פרות ההגות והמחשבה, בתחומי מדעי הרוח והחברה, באים לידי ביטוי בהישגים נפלאים בתחומי ההיסטוריה, הסוציולוגיה, חקר הדתות, ובהן האסלאם והיהדות בנושאים שונים, וכן משפט וכלכלה. הישג מרשים במיוחד הוא פיענוח הכתב הקווי שנתגלה באי כרתים וזיהוי השפה שהוא מייצג. בתחום ההיסטוריה בולט המחקר על הצבא הרומי האימפריאלי וזיהוי ה"אסטרטגיה רבתי" שלו. באשר לחקר הדתות מצטיינים החוקרים בארץ בחקר המנשק שבין הדתות והתרבויות השונות וההשפעות ההדדיות ביניהן. הישג נוסף של ההגות והמחשבה הוא בתחום הסוציולוגיה – המחקר ההשוואתי של הציוויליזציות וכן חקר המשפט בישראל, המקנה למדינת ישראל כבוד רב ותורם למעמדה הבינלאומי. ולבסוף הכלכלה – כלכלני ישראל ידועים בעולם כולו ותרמו תרומה נכבדה מאוד למעמדנו בתחום, שאף זיכתה בשני פרסי נובל.

הקטע המתאר את פרות המפגש בין מדע לטכנולוגיה מובא ממש "על קצה המזלג", ובו מתוך מאות חברות היי-טק וביי-טק ישראליות ניתנות רק שבע דוגמאות למפגש כזה, שהניב תעשיית היי-טק ישראלית מפוארת, שזיכתה את המדינה בתהילת עולם (Start-Up Nation) ובהישגים כלכליים: (1) חברת אינטל ישראל לייצור מעבדי מחשבים מתקדמים; (2) חברת M-Systems, אשר פיתחה את ההחסן הנייד (disk-on-key); (3) חברת אינדיגו, שהיא כיום החברה הגדולה ביותר לדפוס דיגיטלי; (4) חברת נטיפים, יצרנית הטפטפות, אשר גרמו למהפכה עולמית בשיטות ההשקיה והדישון בחקלאות; (5) פיתוח עגבניות השָרִי; בתחום ההתקנים הרפואיים ישראל היא מעצמה של ממש: (6) חברת מדינול, המייצרת תומכנים (סֶטְנִים) למניעת התקפי לב; (7) חברת Given Imaging – החברה היחידה בעולם המייצרת כמוסה (קפסולה) אלקטרונית שמחליפה את בדיקות האַנדוסקופיה החודרניות.

מלבד כל אלה מתקיים מפגש בין מדע, טכנולוגיה וביטחון, שהדוגמה העדכנית ביותר בו היא אולי כיפת ברזל.

מערכת ההשכלה הגבוהה

חלק גדול מן העבודה המדעית בישראל נעשה במערכת ההשכלה הגבוהה, דהיינו אוניברסיטאות המחקר, אשר להן תרומה מרבית לקידום המדע בישראל. בארץ פועלות אוניברסיטאות המחקר – האוניברסיטה העברית בירושלים, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל, אוניברסיטת תל-אביב, מכון ויצמן למדע, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב, אוניברסיטת בר-אילן ואוניברסיטת חיפה. לאחרונה, בשנת תשע"ג (לאחר איסוף הנתונים לדוח זה), הוכר המרכז האוניברסיטאי באריאל כאוניברסיטה. בכל אחת מהן קיימת הוראה מקיפה, ונוסף עליה קיים מחקר בכל תחומי המדע – מדעי הטבע, מדעי

הרוח והחברה – בתמהיל שונה בכל אחת מהאוניברסיטאות. המשותף לכל האוניברסיטאות הוא השאיפה למצוינות, הנקבעת לפי מדדים אובייקטיביים כמו מספר הפרסומים המדעיים ואיכותם. איכות הפרסומים נקבעת לפי יוקרתם של כתבי העת שבהם הם מתפרסמים ולפי מספר הציטוטים שלהם. הרמה המדעית באה לידי ביטוי גם במספר המדענים הצעירים והבכירים הזוכים למענקי מחקר מקרנות בחו"ל, בעיקר מענקי האיחוד האירופי. מלבד כל אלה מתבטאת המצוינות בפרות מחקר אשר מזכים את חברי הסגל של האוניברסיטאות בפרסים יוקרתיים בארץ ובחו"ל.

בצד ההצטיינות המדעית מעיבים סימנים מדאיגים, נציין כמה מהם:

- סגל וסטודנטים – מספרם של חברי הסגל האקדמי הבכיר באוניברסיטאות, במונחים של משרות מלאות, קטן משנת תש"ס לתש"ע ב-7.6%, ומספר המשרות של חברי הסגל הזוטור קטן במשך אותה תקופה ב-15%. באותו פרק זמן גדל מספר הסטודנטים הכללי באוניברסיטאות ב-9.6% במדינות ה-OECD ממוצע הסטודנטים לאיש סגל בכיר הוא 16, ואילו בישראל – 26 (!)

- המחקר הבסיסי – האוניברסיטאות בישראל מופקדות על כמעט כל המחקר הבסיסי. הישגי המדע בשנים האחרונות נשענים במידה רבה על תשתית שטופחה לפני עשרות שנים.

בשנות השבעים של המאה העשרים היו ההוצאות על מו"פ אוניברסיטאי כ-60% מההוצאה הלאומית למו"פ אזרחי, שהיה בשעתו השיעור הגבוה ביותר בקרב מדינות מערביות מפותחות. ב-2010 הגיעו ההוצאות על מו"פ אוניברסיטאי ל-13% בלבד ונמנו עם השיעורים הנמוכים ביותר במדינות ה-OECD.

- תפוקות מחקר – בשנות השמונים דורגה ישראל במקום הראשון בעולם במדד מספר הפרסומים המדעיים לנפש. עם הזמן חלה ירידה הדרגתית. הנתונים מעידים שהירידה נמשכה עד לזמן האחרון, ובשנת 2010 דורגה ישראל במקום השלושה-עשר (עם 0.8%), שהוא עדיין מקום מכובד במדרג הפרסומים בעולם.

גם באיכות הפרסומים, הנמדדת לפי מספר הציטוטים הממוצע לפרסום, חלה ירידה מסוימת בדירוג ישראל בקרב המדינות המפותחות (מהמקום העשירי בשנים 1984–1988 למקום השלושה-עשר בשנים 2004–2008). עם זאת יש לציין כי מספר הציטוטים הממוצע למאמר ישראלי גדל מ-2.85 ב-1984–1988 ל-5.57 ב-2008. אלה נתונים מדאיגים אשר מחייבים תיקון כדי לא לסכן את מעמדנו בעולם.

תפוקה חשובה אחרת של המחקר בישראל מתבטאת בתועלת הכלכלית המופקת מהעברת ידע מהאוניברסיטאות ליישום בתעשייה. סך ההכנסות ממכירת קניין רוחני ומתמלוגים בארץ ובחו"ל הסתכמו בשנת 2009 ב-1,834 מיליוני ש"ח. הכנסות אלה היו כ-48% ביחס להוצאות למו"פ של האוניברסיטאות. לשם השוואה, ההכנסות המקבילות בארצות הברית היו כ-5% ביחס להוצאות למו"פ, בבריטניה כ-2%, באוסטרליה 1.5%, ובקנדה כמחצית האחוז. רוב ההכנסות היו מידע שיושם בתעשייה המקומית, והייתה בכך תרומה חשובה לכלכלת ישראל.

דוחות האקדמיה – האקדמיה בודקת מעת לעת בדיקות תחומיות. בשנים האחרונות נבדקו תחומי מדעי הרוח וההיסטוריה, ובימים אלה נבדקת הארכאולוגיה. בתחומי הטבע נבדקו תחומי הגז והנפט, תחיליפי נפט בתחבורה, המחקר הביורפואי ומגוון המינים.

קשרי החוץ המדעיים – המדע כיום נעשה יותר ויותר כלל-עולמי. ישראל מצטיינת בקיום שיתופי פעולה ברמה האישית והמוסדית. בשנים 1981–2008 היו 34% מהפרסומים תוצאה של שיתוף פעולה של חוקרים מישראל עם חוקרים ממדינות אחרות.

קיימים הסכמים לשיתופי פעולה מדעיים ברמה הלאומית בין מדינות, בין אוניברסיטאות, בתכניות המו"פ האירופי ובמתקני מדע גדול כמו CERN ו-ESRF.



בשיתופי פעולה אלה בולטת במיוחד ההצטיינות המדעית של ישראל, למשל ב־CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire), בתכנית המחקר של ה־ERC (European Research Council) וב־ESRF (European Synchrotron Radiation Facility).

הקהילה המדעית בישראל בתמיכת האקדמיה הלאומית למדעים ניסתה, ועודה מנסה, לקיים קשרים מדעיים ברמה האזורית, כמו למשל עם הרשות הפלסטינית ועם ירדן, ומקיימת את המרכז האקדמי בקהיר.

כיווני פיתוח של מערכת ההשכלה הגבוהה – כיווני הפיתוח של מערכת ההשכלה הגבוהה ושל המחקר המדעי נקבעים במסגרת התקציב הרב־שנתי של אלה: ות"ת, תכניות הפיתוח של האוניברסיטאות, פעילות תל"מ (תשתיות לאומיות למחקר ולפיתוח)¹ ופעילותם של חברי הסגל.

במסגרות אלה נעשים מאמצים לקליטת סגל צעיר וחדש, לגיבוש מרכזי מצוינות ולתמיכה במחקר הבסיסי. בתחום תשתיות המחקר התמונה קשה. ההשקעות בתחום זה מועטות מאוד, והמצב הולך ומחמיר. גם התרומות הפילנתרופיות, שבלעדיהן אי אפשר היה להקים את התשתיות, הולכות ופוחות. מסגרת פורום תל"מ, שהוקם ביזמת האקדמיה, אפשרה איגום משאבים ושיתופי פעולה רבים, והבולט שבהם הוא בתחום הננוטכנולוגיה – בהיקף של כ־220 מיליון דולר עד 2011.

עיקרי המסקנות וההמלצות

קיום מערכת המחקר המדעי וטיפול ההון האנושי ברמה הגבוהה ביותר הם אתגר קיומי למדינת ישראל, ועל כן נדרשים:

1. שינוי כיוון הכרחי – להגדיל ההשקעה הציבורית במחקר מדעי.
2. אי־פגיעה בתקציבי מערכת ההשכלה הגבוהה.
3. הבטחת עתיד המחקר וההיי־טק הישראלי – לתגבר הוראת מדעים בבתי הספר התיכוניים.
4. תגבור המשאבים והתשתיות למו"פ עד לרמה הממוצעת במערב.
5. החזרת מדענים מצטיינים (מניעת בריחת מוחות).
6. תגבור קשרי מערך המחקר הישראלי עם גופי מחקר בין־לאומיים.
7. שימור תחומי מחקר נכחדים – להציל חוגים באמצעות ריכוז מאמצים והקמת גוף מתאם.
8. שימור רמתם של מדעי הרוח והחברה.
9. הרחבת הנגישות לקבוצות אוכלוסייה נוספות.
10. גיוס סגל צעיר לאוניברסיטאות.

1 הסבר על תל"מ ניתן בפרק 1.

מבוא

מאז ומתמיד ראה העם היהודי בפיתוח תכונותיו הרוחניות את הבסיס האיתן לקיומו. מדינת ישראל חייבת להישען בראש ובראשונה על עצמתה הרוחנית, התרבותית, החינוכית, המדעית והטכנולוגית. את העצמה הזאת תשאב מתשתית מדעית וטכנולוגית ערכית, עדכנית, מבוססת ומסופעת. קיומה וקידומה של מערכת המדע והטכנולוגיה עד לרמה הגבוהה ביותר יקבעו את ערכיה ואת דמותה ותדמיתה של מדינת ישראל, ויעצבו את עתיד החברה בה ואת עתיד הכלכלה, הבריאות והביטחון.

עם הצגתה של ממשלת ישראל בפני הכנסת ביום 8 במרס 1949 הציג ראש הממשלה דוד בן-גוריון את קווי היסוד של הממשלה הנבחרת הראשונה. דבריו התמקדו בסגולותיו של העם, שיעמדו לו בעת הצורך להתגבר על הקשיים העצומים שניצבו בפני המדינה שנולדה לא מכבר והייתה נתונה במלחמה קשה – מלחמת הקוממיות – שטרם הגיעה לסיומה המלא בעת הצגת הממשלה.

בדברים אלה התייחס ראש הממשלה לתפקיד המדע והטכנולוגיה בעיצוב עתידה של מדינת ישראל: "בדורנו מתחוללת אולי המהפכה הגדולה בחיי אנוש עלי אדמות, מהפכת שלטון האדם על הכוחות האיתנים הטמירים בטבע, בכוח האטום ובכיבוש האוויר והמרחב וצפונות היקום... כל המעשה אשר נעשה בחומר וברוח לחיזוק ביטחוננו ולהרחבת משקנו, לחינוך בנינו ולקליטת עולים יבוסס על המסקנות, העקרונות והעליונות של המדע הצרוף והשימושי ועל הטכניקה המשוכללת ביותר".

חזונו של דוד בן-גוריון התממש הן במדע הבסיסי הצרוף והן ביישומי הטכנולוגיה. מעמדו הבין-לאומי של המדע הישראלי, הישגי הטכנולוגיה הביטחונית והתעשייה עתירת הידע המובילה של ישראל הם עדות לכך. העיסוק במדע הבסיסי מתקיים רובו ככולו באוניברסיטאות המחקר, שם גם מכשירים את המהנדסים ואת המדענים שמיישמים את הידע שלהם בפיתוח ביטחוני ובבניית התעשיות עתירות הידע. על כן האוניברסיטאות הן המעיין השופע את כל ההישגים הללו. אולם כדי שההישגים לא יהיו תופעה חולפת, על ישראל לאמץ, גם במאה העשרים ואחת, מדיניות מדע אמיצה ומרחיקת ראות ברוח חזונו של בן-גוריון.

מדינת ישראל היא מדינת מדע וטכנולוגיה. במדינה שאוכלסייתה קטנה, כ-8 מיליון, הקהילה המדעית תורמת תרומות חשובות מאוד להישגי מו"פ ברמה הבין-לאומית, המעמידות את מדינת ישראל במקומות הראשונים בדירוג העולמי של המדינות המתקדמות. הישגים בולטים אלה באים מתחומים המשתרעים מענפיו הנרחבים של המחקר הבסיסי המצטיין ועד לפיתוח טכנולוגיות ביטחונית ואזרחיות מתקדמות. הישגי המחקר הבסיסי בשנים האחרונות זיכו מדענים באוניברסיטאות המחקר בפרסי נובל. הישגי התעשייה הביטחונית ותעשיית החלל האזרחית הובילו לפיתוחים הטכנולוגיים החדשניים של לוויינים, מערכות פורצות דרך של טילים נגד טילים כמו ה"חץ" ומערכת "כיפת ברזל", שהקפיצה מדרגה את מעמדה של מדינת ישראל בקרב המדינות המובילות בטכנולוגיות חזית, ותרמו לשיפור ניכר ביכולותיה הביטחונית. מערכת המדע והטכנולוגיה היא מרכיב עצמה מרכזי במישור הערכי ובתחומי הכלכלה והביטחון, ואלה יבטיחו את יתרונה האיכותי של מדינת ישראל.

מערכת המדע של מדינת ישראל נשענת על אבני היסוד של מחקר בסיסי, הנעשה באוניברסיטאות המחקר, על מחקר תרגומי-יעודי, הנעשה באוניברסיטאות המחקר, במעבדות הלאומיות ובכמה מכללות אקדמיות, ועל מו"פ יישומי במעבדות הלאומיות ובתעשייה. מכלול פעולות מחקר אלה מחולל פריצות דרך בפיתוח טכנולוגיות חדשניות.

המדע הבסיסי מכוון להרחבת הבנת האדם את העולם ואת עצמו. קידומו ופיתוחו מונעים לרוב מסקרנות ונעשים ללא כוונת רווח. תרומות מערכת המחקר הבסיסי באוניברסיטאות המחקר והישגיה בכל תחומי המדע – ממדעי הטבע, הרפואה, ההנדסה והטכנולוגיה ועד למדעי הרוח, מדעי

החברה, מדעי היהדות והמשפט – הם בעלי חשיבות עליונה לתרבות הלאומית ולצורכי המדינה. הישגי המחקר הבסיסי מצויים בחזית המדע העולמי, ומדינת ישראל מדורגת במקום גבוה בסולם הפוריות המדעית בעולם על כלל פרסומיה המדעיים. במדדי איכות מדעית בתחומי מחקר הייתה המדינה, בשנים 2004–2008, במקומות 4–8 בדירוג העולמי בתחומי מפתח של מדעי המחשב, מדעי החומרים, כימיה, פיזיקה, ביוכימיה, ביולוגיה מולקולרית, גנטיקה וכלכלה. מדענים ישראלים זוכים בפרסים חשובים על הישגיהם: בשנים האחרונות זכו חמישה מדענים בפרסי נובל בכימיה, במדעי החומרים, בביולוגיה-ביוכימיה ובכלכלה; מתמטיקאי צעיר זכה במדליית פילדס (Fields), הנחשבת לפרס נובל של המתמטיקה; עוד מדענים זכו בפרסים בין-לאומיים יוקרתיים אחרים, ובהם פרס הולברג (Holberg) במדעי הרוח, החברה והמשפט, פרס שנון (Shannon) בתקשורת, פרס טיורינג (Turing) במדעי המחשב, פרס איינשטיין בפיזיקה, פרס גרדנר (Gairdner) ברפואה, פרס וולף במדעים ואמנויות והמדליה הלאומית למדעים של ארצות הברית. הצטיינותה המדעית של מדינת ישראל באה לידי ביטוי גם בקבלת מענקי מחקר תחרותיים מהאיחוד האירופי בהיקפים העולים במידה ניכרת על מספרם היחסי של החוקרים הישראלים. כן בולטת מנהיגותם של חוקרים ישראלים בפעולות בתחומי "מדע גדול", המבוסס על איגום בין-לאומי של כוח אדם מדעי ושל משאבים בתחומי מחקר ניסיוני של אנרגיות גבוהות במעבדות CERN על גבול שווייץ-צרפת, אשר הביא השנה להתקדמות בחקר האנטי-חומר ולגילוי החלקיק האלמנטרי של היגס (הידוע גם בשם "החלקיק האלוהי"). עוד בולט חלקם של חוקרים ישראלים בתרומות מרכזיות במרכז האירופי לחקר קרינת הסינכרוטרון בג'רנובל שבצרפת, שהובילו לפריצות דרך בתחומי חקר מבנה החומרים ומערכות ביולוגיות, ואשר זיכו שני מדענים ישראלים בפרסי נובל. מעמד המדע הישראלי בהשוואה בין-לאומית משתקף בהשלכותיה המרשימות של איכות תפוקותיו. עצמת האיכות המדעית ביחס לעצמה הכלכלית של תמ"ג (תוצר מקומי גולמי) לנפש של מדינת ישראל² העמידה אותה באחד משלושת המקומות הראשונים בעולם, לצד שווייץ ושוודיה. זהו מכלול הישגים מרשימים, המבוסס על השקעה רבה, מתמשכת וארוכת טווח – בתשתיות, בבניית כוח אדם מדעי מצטיין באוניברסיטאות המחקר ובמעבדות הלאומיות ובשיתוף פעולה מדעי-טכנולוגי בין-לאומי וכן בקיום קשרי גומלין בין מערכת המחקר הבסיסי והתעשייה האזרחית והביטחונית. מדינת ישראל קוטפת היום את פירות העבר של ההשקעה הלאומית בהון האנושי ובתשתית המחקרית של מערכת המדע הבסיסי.

המחקר המדעי הבסיסי מניב לעתים קרובות פירות מעשיים כשהישגיו מועברים למחקר תרגומי, שהוא בסיס לפיתוחים טכנולוגיים מתקדמים לצורך הקמת תעשיות הטכנולוגיה העילית (היי-טק), קידומן ופיתוחן. תעשיות המידע והתקשורת, שמדינת ישראל מצטיינת בהן, נשענות על המחקר הבסיסי האיכותי בתורת האינפורמציה, הנדסת האלקטרוניקה, התקשורת ומדעי המחשב. לשימוש בטכנולוגיות עילית לצרכים ביטחוניים דרושות השקעות גדולות ופעילות מו"פ ענפה לצורך שילוב צורכיהם של מערכת הביטחון, השוק הביטחוני והשוק האזרחי. המדע והטכנולוגיה בישראל מתאפיינים בחדשנות, בשכלולים ובחיפוש מתמיד אחרי פריצות דרך, ובזכות אלה יצא להם שם עולמי בתאוריה ובמעשה. מדינת ישראל זכתה, ובצדק רב, לכינוי "מדינת ההזנק". ואכן, חברות ההזנק הישראליות תרמו רבות לכלכלת המדינה, וזאת בתחומים רחבים כגון מחשבים, תקשורת, אופטיקה, חקלאות, הנדסה רפואית ופיתוח אמצעי לחימה. בישראל הריכוז הגבוה ביותר בעולם של חברות הזנק ביחס למספר התושבים, וכן תעשיות אזרחיות גדולות שמקנות לה מוניטין עולמי, ובהן טכנולוגיית מחשבים, התקנים רפואיים וחקלאות. מעמד הטכנולוגיה הישראלית משתקף גם בתחומי התעשייה הביטחונית – התעשייה האווירית וחברת רפאל³ הן במקומות בולטים בקרב מאה החברות הביטחוניות המובילות בעולם. ההישגים המרשימים של תעשיית הטכנולוגיה

2 ראו איור 23 בעמ' 34.

העילית, הנשענים על המחקר המדעי-טכנולוגי האיכותי, הם מרכיב מרכזי במימוש "המהפכה הצינית" של מייסדי מדינת ישראל.

עם זאת במאה העשרים ואחת הולך ומתהווה בעולם גל של חדשנות מדעית-טכנולוגית, שהוא בעל פוטנציאל לעלות בחשיבותו על הגל הקודם של תעשיית הטכנולוגיה העילית. התפתחות זאת תתבסס על מדע מתקדם של מניפולציה ובקרה של אטומים, מולקולות, ננומבנים וגנים. המעבר לתעשייה עתידית, המבוססת על מדע, יישען על מחקר בסיסי שיפותח למחקר ייעודי בתחומים רחבים של ננומדע וננוטכנולוגיה, מדעי החומרים, מדעי המוח, מדעים קוגניטיביים, ביולוגיה מולקולרית, רפואה אישית, פרוטאומיקה וִגֵנוֹמיקה. השילוב הפורה של המדע האיכותי עם התעשייה החדשנית יביא למהפכה שתבטא במעבר מתעשיית הטכנולוגיה העילית לתעשייה המבוססת על מדע. למהפכה זאת מאפיינים חדשים ביחס למדיניות המדע והטכנולוגיה הלאומית. התפתחות תעשיית המדע לא תבוא מהתעשייה או ממערכת המחקר והפיתוח הביטחוני אלא ממעבדות המחקר של האוניברסיטאות. על כן יש צורך במדיניות מושכלת ובהשקעות לאומיות הולמות לקידום המחקר הבסיסי והייעודי באוניברסיטאות המחקר. כיום מדינת ישראל מצויה בעיצומה של הפעלת תכניות ייחודיות לקידום תעשיות מדע באמצעות מחקר אוניברסיטאי ייעודי בתחומי הננוטכנולוגיה ומדעי המוח, אשר מימונה בא מאיגום משאביהם של אלה: ות"ת במל"ג, המדען הראשי של משרד התעשייה, משרד המדע, משרד האוצר והאוניברסיטאות. פעולה זאת תביא ליצירת תעשיות מדע. תכניות אלה יכולות לשמש דוגמה לקידום תכניות דומות גם בתחומים אחרים של תעשיות המדע העתידיות.

מדיניות הממשלה אשר הביאה בעבר ל"העשור האבוד" במימון אוניברסיטאות המחקר הייתה מזיקה ונגדה את האינטרס הלאומי. קיים אפוא צורך חיוני לשנות את פני הדברים, וזאת באמצעות אלה:

- להמשיך להגדיל בהדרגה את היקף מימונה של מערכת המחקר, שמקורו בתקציבים התחרותיים של הקרן הלאומית למדע, בתקציבי תשתיות מדעיות, בתקציבי מרכזי ההצטיינות ובתקציבי המחקר הייעודי לקידום תרומות המחקר האוניברסיטאי לתעשיות המדע העתידיות. את הגדלת היקף המימון יש לעשות על פי תכנית רב-שנתית אשר תהיה חסינה בפני זעזועים תקציביים, כפי שנעשה בשנתיים האחרונות במסגרת התכנית הרב-שנתית הערכית והחשובה של הות"ת במל"ג לקידום המחקר הבסיסי והייעודי באוניברסיטאות המחקר.
- לבסס את היקף תקציבי המחקר האוניברסיטאי בישראל על השוואות למדינות מתקדמות. ההוצאה על מחקר אוניברסיטאי בישראל היא 17% מכלל ההוצאה הלאומית למו"פ, ואילו במדינות ה-OECD היא 23% מכלל תקציב המו"פ. יש להגדיל את תקציבי המחקר של אוניברסיטאות המחקר לפחות לפי שיעורם הממוצע של תקציבים אלה במדינות ה-OECD.
- לבלום את המגמה המסוכנת של "בריחת מוחות" תוך גיוס סגל צעיר ברמה עולמית, שדרוג תשתיות המחקר ובניית תשתיות מתקדמות נוספות, הכפלת תקציבן של קרנות מחקר תחרותיות, הקמת מרכזי מצוינות מחקרית ומאמץ לאומי ל"השבת מוחות" (brain drain reversal).
- לתגבר את המחקר הייעודי המבוסס על קשרי אקדמיה-תעשייה, שקידומו ומימונו מתבססים על תכניות חדשניות וחשובות של המדען הראשי של משרד התעשייה.
- להמשיך ולחזק את שיתוף הפעולה ההדוק שבין המו"פ הביטחוני למחקר הבסיסי והייעודי באוניברסיטאות, המתבטא במחקרים משותפים, בקיום מרכזי ידע מחקריים ובעיצוב תחומים עתידיים לטכנולוגיות חדשות, והממומן במשותף על ידי משרד הביטחון והות"ת.

לסיכום, קיום מערכת המחקר המדעי וטיפוח ההון האנושי ברמה הגבוהה ביותר הם אתגר קיומי למדינת ישראל.

פרק א



פרק א: מפרות המחקר המדעי הישראלי - תרומות בולטות בתחומי הטבע והרוח

ראשי פרקים:

- פרות הסקרנות המדעית
- פרות ההגות והמחשבה
- פרות המפגש בין מדע לטכנולוגיה

פרק זה סוקר תרומות בולטות של מדענים ישראלים הפעילים כיום, אשר באות להמחיש את מקומו ואת תרומתו של המדע הישראלי בקנה מידה עולמי. הסקירה לא נועדה להאיר רשימה ממצה של התרומות בכל התחומים אלא מסתפקת במבחר דוגמאות. עם זאת היא ממחישה את השפעתם של מדעני ישראל במגוון תחומי המדע ואת ההכרה שלה זוכים אנשי המדע והרוח הישראליים. תיאור מפורט יותר מופיע בנספח 4.

יש להדגיש שהתרומות הללו התאפשרו אך ורק הודות לחזונם של מנהיגי התנועה הציונית והמדינה בראשית היווסדה, דהיינו נשיאה הראשון פרופ' חיים ויצמן וראש הממשלה דוד בן-גוריון, והודות להכרתם בחשיבות המדע לחוסנה של ישראל ולכלכלתה. בזכות חזונם והכרתם אלה השקיעה המדינה במחקר מדעי השקעה רבה יחסית למשאביה הדלים.

הפרק מורכב משני חלקים עיקריים – פרות הסקרנות המדעית ופרות ההגות והמחשבה, וחותרם אותו קטע קצר יותר המתאר את פרות המפגש בין מדע לטכנולוגיה כפי שהוא מתבטא בהישגיה החשובים של תעשיית ההיי־טק והביו־טק.

פרות הסקרנות המדעית

מטרתו של מחקר מדעי בסיסי היא להרחיב את הבנת האדם את העולם ואת עצמו. הוא לרוב מונע מסקרנות, נעשה באוניברסיטאות המחקר ובלא כוונת רווח באמצעות יישום מסחרי. עם זאת לעתים קרובות פרות המחקר הבסיסי הם מפתיעים ובעלי השפעות כלכליות מרחיקות לכת. מאז אמצע המאה העשרים רוב פריצות הדרך בטכנולוגיה מקורן במחקר הבסיסי. לכן החלטנו לפתוח את הדוח הראשון של האקדמיה הלאומית למדעים המוגש לכנסת ישראל בתיאור כמה מההישגים החשובים של מדענים ומדעניות ישראלים, שהיו לפריצות דרך בקנה מידה עולמי. ההישגים האלה מעידים על תרומתה הרבה של ישראל למחקר המדעי העולמי מחד ועל יישום תעשייתי נרחב לטובת החברה והאדם מאידך. תיאור תמציתי של הישגים אלה בתחומים השונים של המדעים מופיע להלן ברצף. התיאור המלא מופיע בנספח 4.

התובנה שהכלכלה היא "משחק" רציני מובילה לפרס נובל בכלכלה פרופ' ישראל אומן, האוניברסיטה העברית בירושלים

תורת המשחקים היא ענף של המדע המנתח מצבים שמעורבים בהם כמה גורמים השואפים כל אחד למטרות שונות (אך לאו דווקא מנוגדות). למשל: משא ומתן מדיני או מסחרי, הרכבת ממשלות, בחירות, שביתות, מלחמה, מאבקים משפטיים, תהליכים אבולוציוניים ואף משחקים ממש, כגון שחמט, פוקר או כדורסל. בשנת 2005 הוענק פרס נובל לכלכלה לפרופ' אומן "על הגברת ההבנה של מצבי עימות ושיתוף פעולה תוך שימוש בכלים של תורת המשחקים".

אוטומטים סופיים – אבן היסוד של מדעי המחשב

פרופ' מיכאל רבין, האוניברסיטה העברית בירושלים

פריצת דרך חלוצית שהניחה את היסודות העיוניים למדעי המחשב – שהוא מרכיב מרכזי במהפכה המדעית-טכנולוגית שהחלה במחצית השנייה של המאה העשרים, ושאנחנו היום בעיצומה – הייתה של פרופ' רבין מהאוניברסיטה העברית בירושלים.

פרופ' רבין חיבר את העבודה הראשונה על מורכבות של חישובים, נושא מרכזי במדעי המחשב.

כמו כן הציע שימוש של אקראיות לפתרון בעיות חישוב, בין השאר בדיקה של מספרים טבעיים גדולים בדבר ראשוניותם. בכך אפשר את תורת ההצפנות המודרנית. לאחרונה פיתח יישומים של הצפנות לתהליכי מכירות פומביות.

עם סיום לימודי הדוקטורט במתמטיקה באוניברסיטת פרינסטון הוזמן מיכאל רבין, ועמו חברו ללימודים דנה סקוט, למעבדת המחקר של חברת יבמ, אשר אך הוקמה באותה עת. הם זיהו את תורת האוטומטים כתחום חשוב למדעי המחשב, אשר היו בראשית התפתחותם, וחקרו אותו. בתוך זמן קצר הניב מחקרם תוצאות והם כתבו מאמר אשר הכה גלים בעולם המדע ושימש נקודת מוצא לאלפי מחקרים נוספים. לימים זיכה מאמר זה, ועבודות רבות נוספות במדעי המחשב, את רבין וסקוט בפרס על שם אלן טיורינג, שהוא הפרס למדעי המחשב החשוב בעולם, ויש המכנים אותו "פרס נובל במדעי המחשב". רבין זכה עוד באלה: פרס ויצמן, פרס רוטשילד, פרס הארווי, פרס ישראל, פרס א.מ.ת ופרס דן דוד.

אלגוריתם למפל-זיו – הסטנדרט הבין-לאומי להעברת מידע

פרופ' יעקב זיו ופרופ' אברהם למפל, הטכניון

העולם המודרני לא היה יכול להיווצר – ולא להתקיים – ללא תקשורת אלקטרונית. הסחר, הייצור, השירותים, המערכת הפיננסית, מערכת הביטחון, האינטרנט, הפייסבוק, התחבורה האווירית, הימית, היבשתית, תחבורת החלל – כל אלה לא היו מחזיקים מעמד ללא תקשורת אלקטרונית, ולו זמן קצר, והיו קורסים. כל אלה דורשים העברת נתונים בכמויות אסטרונומיות. המידע הזה עובר בחוטים, בסיבים אופטיים ובחלל, ממקום למקום, במהירות האור. אילו היינו צריכים להעביר את כל המידע הזה בצורתו הגולמית – כלומר כפי שהוא – היה הדבר לא יעיל עד בלתי אפשרי. את כמות המידע העצומה הזאת, הזורמת בעולם ממקום למקום, יש "לדחוס" בצד ההזנה ו"לפתוח", או לפענח – בצד היציאה.

שני מדענים ישראלים, פרופ' יעקב זיו ופרופ' אברהם למפל, פיתחו בשנת 1977 אלגוריתם לדחיסת מידע, הנקרא על שמם – "האלגוריתם למפל-זיו" (הידוע בעולם בשמו LZ algorithm) – שדוחס את המידע ביעילות, ולא זו אף זו: הם הוכיחו כי ככל שסדרת הנתונים ארוכה יותר, יעילות הדחיסה גוברת, וכאשר הסדרה ארוכה מספיק, אין דרך יעילה משלהם לדחיסת הנתונים. על כן הפך האלגוריתם הזה לסטנדרט הבין-לאומי. כל פיסת מידע המועברת בעולם – אם זה בשיחת טלפון, אם בחיפוש באינטרנט, אם בהעברת כרטיס אשראי בחנות ואם בהעברת כסף מחשבון לחשבון – נדחסת על פי האלגוריתם של למפל-זיו. עבודה זו ועבודות רבות אחרות של פרופ' זיו זיכו אותו בפרסים הבין-לאומיים החשובים ביותר בתורת התקשורת, ובהם פרס מרקוני ופרס שנון, וכן בפרס ביטחון ישראל (פעמיים), בפרס רוטשילד ובפרס ישראל.

מדוע להצפיין?

פרופ' עדי שמיר, מכון ויצמן למדע

אין לשער איך הייתה פועלת מערכת הבנקאות המודרנית ללא הצפנת מידע. פרופ' שמיר הוא אחד האנשים שתרם את התרומה הגדולה ביותר בתחום ההצפנה (קריפטוגרפיה), ועבודותיו נוגעות בכל היבט של התחום. אחת הראשונות שבהן הייתה פיתוח האלגוריתם הידוע בשם RSA (ראשי תיבות של שמות שלושת מפתחיו – ריבסט, שמיר ואדלמן), המאפשר להצפיין מידע באמצעות מפתח ציבורי. RSA נמצא כיום בשימוש רחב בעולם לצורך פעולות בטוחות באינטרנט בין בנקים לחברות אשראי. תרומות חשובות אחרות של שמיר הן מושג "חלוקת הסוד" ורעיון השימוש בפונקציות אקראיות ליצירת שיטות חתימה יעילות ובחינת פרוטוקולים ושיטות הצפנה וחשיפת חולשותיהן. אלגוריתם נוסף שפיתחו הוא ועמיתיו במכון ויצמן מאפשר את הפעלתו של כרטיס חכם המקנה את הגישה לשידורי לוויין למנויים בלבד. הישגיו של פרופ' שמיר זיכו אותו בפרסים יוקרתיים – פרס ארדש, פרס רוטשילד, פרס ויצמן ופרס ישראל וכן בפרס טיורינג במדעי המחשב, הנחשב למקבילו של פרס נובל.

סימטריה בעולם החלקיקים

פרופ' יובל נאמן, אוניברסיטת תל-אביב, ופיזיקאים עמיתים

החיפוש אחרי אבני היסוד של כל החומר ביקום עמד במרכז המחקר הבסיסי בפיזיקה במשך כל המאה העשרים. הישגו המדעי הגדול של פרופ' יובל נאמן הוא בזיהוי עקרונות סימטריה בסיסיים ביסוד עולם החלקיקים האלמנטריים. הוא הראה שאפשר להסביר את קיומם ותכונותיהם של החלקיקים התת-אטומיים בעזרת מודל המבוסס על חבורת הסימטריה $SU(3)$. במיוחד הראה איך הפרוטון והניטרון הם חלק משמיניית בריונים, שמהווה הצגה של חבורה זו. נאמן הגיע לגילויים אלה במקביל למארי גל-מן, שכינה את החלקיקים שבבסיס המודל בשם קוורקים. על גילוי חלקיק "אומגה מינוס" Ω^- (ב-1964), שקיומו ותכונותיו נחזו באמצעות המודל של פרופ' גל-מן ושל פרופ' נאמן, ועל ממצאים נוספים, זכה פרופ' גל-מן בפרס נובל לפיזיקה לשנת 1969. כמה וכמה פיזיקאים תאורטיקנים ישראלים, ובהם פרופ' נאמן, פרופ' צבי ליפקין ופרופ' חיים הררי ממכון ויצמן למדע, תרמו תרומה חלוצית לפתרון מבנה החומר, וכל אחד מהם זכה בפרסים יוקרתיים כגון פרס ויצמן, פרס רוטשילד, פרס א.מ.ת ופרס ישראל.

אפקט אהרונוב-בוהם

פרופ' יקיר אהרונוב, אוניברסיטת תל-אביב

כבר במסגרת עבודת הדוקטור שלו בטכניון, בהדרכת פרופ' דייוויד בוהם, גילה פרופ' אהרונוב בשנת 1959 תופעה במכניקת הקוונטים, שלפיה חלקיק טעון מושפע משדות אלקטרומגנטיים באזורים שאליהם החלקיק אינו מגיע כלל. תוצא זה נקרא כיום על שמו - "אפקט אהרונוב-בוהם". פרופ' אהרונוב זכה במספר רב של פרסים על הישגיו, כולל פרס ויצמן, פרס רוטשילד, פרס ישראל, מדליית פרנקלין, פרס היולט-פקארד, פרס וולף, פרס א.מ.ת, ובשנת 2010 זכה לכבוד הרם ביותר בארצות הברית - המדליה הלאומית למדעים - מידי הנשיא אובמה.

האם חור שחור אכן שחור?

פרופ' יעקב בקנשטיין, האוניברסיטה העברית בירושלים

חורים שחורים הם עצמים אסטרונומיים מסיביים בעלי כוח משיכה גדול כל כך שאפילו אור אינו יכול להימלט מהם, ומכאן הכינוי "חור שחור". אפשרות קיומם ותכונותיהם הבסיסיות מוסברות במסגרת תורת היחסות הכללית של איינשטיין. פרופ' יעקב בקנשטיין הראה בעבודתו כי יש לגופים אלה תכונה סטטיסטית-תרמודינמית, הקרויה אנטרופיה. זאת, אף על פי שהדינמיקה הפנימית של חור שחור איננה ידועה. עבודה זו פתחה שדה מחקר של דינמיקה של חורים שחורים, שהיה לאבן פינה בתחומי הפיזיקה העיונית של כבידה קוונטית ומיתרים. כמו כן תרם פרופ' בקנשטיין לייסוד התרמודינמיקה של חורים שחורים ולהיבטים נוספים של הזיקה בין מידע לכבידה. עבודה זו זיכתה את פרופ' בקנשטיין בפרסים יוקרתיים, כולל פרס ויצמן, פרס ישראל ופרס וולף.

מולקולות אפלות

פרופ' יהושע יורטנר, אוניברסיטת תל-אביב

מדעי הכימיה מייצגים את הקמתה של המסגרת הניסיונית והמושגית למבנה החומר, תפקודו ושינויו. תיאור חדשני של התפקוד והשינויים החלים בחומר באמצעות בליעת אור ניתן באמצעות תאוריית ביקסון-יורטנר (משנת 1968) של גלגולי אנרגייה במולקולות, שבה מספר עצום של מצבי תנודה גרעינית מהווה מוקד לדרדור אנרגיית "חלקיקי האור" (הפוטונים) [הנבלעים על ידי המולקולה]. תהליכי היסוד של "מעברים לא קרינתיים" מנצלים את אנרגיית האור להפיכת אנרגייה אלקטרונית לגרעינית וכן לזרימת אנרגיית תנועה גרעינית במולקולות, מוצקים, נוזלים, מערכות ביולוגיות וננומטריות. עבודה זו הניחה יסודות לבקרת תהליכים מושריי ליזר, לחקר

תהליכי יסוד פוטוביולוגיים ולתיאור "היקום הכימי", והובילה למושג "חבילות גל של מצבים מולקולריים", שדעיכתם מגלה תופעות התאבכות פנים-מולקולרית ומאפשרת מעקב ישיר אחרי התנועה הגרעינית. תוצאות מחקרים עיוניים אלה אושרו 16 שנה לאחר מכן בעבודה ניסיונית, תוך שימוש בלייזרים על-מהירים, אשר הביאה להענקת פרס נובל בכימיה בשנת 1999 לפרופ' אחמד זוויל. לימים זכה פרופ' יהושע יורטנר בפרסים יוקרתיים, ובהם פרס ישראל, פרס ויצמן, פרס רוטשילד, פרס א.מ.ת. ופרס וולף על "מחקרים פורצי דרך של צבירת, אגירת ושחרור אנרגיה במערכות מולקולריות".

גבישים קוואזי-מחזוריים

פרופ' דן שכטמן, הטכניון

תגליתו של פרופ' דן שכטמן הייתה במעבדות הלאומיות לתקנים (NBS) במרילנד שבארצות הברית בשנת 1980. הוא עסק בייצור חומרים מתכתיים בהתמצקות מהירה וגילה במיקרוסקופ שבגביש שהכין הייתה סימטריה סיבובית של חמש, שנחשבה בלתי אפשרית בגבישים מחזוריים (ההנחה הייתה שתיתכן רק סימטריה של 2, 3, 4 או 6, ועל יסוד זה צמחה הקריסטלוגרפיה). במשך שנים רבות נדחו תוצאות המחקר שלו על ידי גדולי המדענים, אך דבקתו של פרופ' שכטמן במטרה וההוכחות הנוספות שהוא צבר במחקריו הביאו בסופו של דבר לפיתוח תחום חדש במדע. כיום כבר ידוע על מאות חומרים המקיימים את המבנה שגילה פרופ' שכטמן, ומדי שנה מתקיימים כינוסים בין-לאומיים בנושא. כמו כן הוקדשו לגבישים קוואזי-מחזוריים עשרות ספרים מדעיים. על תגליתו והישגיו המדעיים זכה פרופ' שכטמן בפרסים רבים, כולל פרס ישראל, פרס וולף ופרס נובל לכימיה לשנת 2011.

שנות הפריחה של המחקר הביורפואי שהחלו באמצע המאה העשרים הביאו חוקרים רבים להתעניין בסוד הגנטיקה, או בדרך שבה מועבר המידע לייצור החלבונים הבונים והמאפיינים את המינים השונים מדור לדור. גילוי מבנה הדי-אן-איי ודרך שכפולו באמצע שנות החמישים על ידי וטסון וקריק היה נקודת מפנה ופרץ דרכים חדשות בהבנתנו את סוד העברת המידע הגנטי. אלו הביאו בהמשך הדרך להבנת המנגנונים שמאחורי המחלות התורשתיות והמוטציות הנרכשות הגורמות לפתולוגיות, כמו מחלות הסרטן והלב והמחלות הניווניות של המוח. כל אלו הניעו את תעשיית התרופות ויצרו את המהפכה הגדולה שחולל המחקר הביולוגי במחצית השנייה של המאה העשרים.

הרס לשם בנייה – על ההכרח שבתחלופת חלבוני הגוף

וסיפור גילוייה של מערכת האוביקוויטין

פרופ' אברהם הרשקו ופרופ' אהרן צ'חנובר, הטכניון

גוף כל היצורים – מן הווירוסים דרך הצמחים ועד האדם – עשוי חלבונים, אותן מכונות קטנות המאפשרות את התפקוד המורכב של החיים. קחו למשל את גוף האדם – הוא עשוי עשרות אלפי חלבונים, מן ההמוגלובין – חלבון הדם האדום הנושא את החמצן – דרך הנוגדנים, הבונים את מערכת החיסון ומאפשרים לנו להתגונן מפני "פולשים זרים" כחיידיקים ווירוסים, ודרך האקטיין, המיוזין והמיוגלובין – חלבוני השריר, המאפשרים את פעולת שאיבת הדם על ידי הלב ואת התנועה – ועד לחלבוני המוח, האחראים לתפקודים הגבוהים של האדם – מן השמיעה, הראייה והדיבור, ועד להבנה, הזיכרון, האינטליגנציה והיצירתיות. חוקרים רבים עסקו במנגנוני הייצור של החלבונים הבונים את המינים השונים והמאפיינים אותם, אך רק מעטים מהם התעניינו בצדה השני של המשוואה והוא מנגנוני פירוקם של אלפי החלבונים שנוצרו. עם אלה שהתעניינו בצד זה של המשוואה נמנים פרופ' אברהם הרשקו ופרופ' אהרן צ'חנובר, אשר גילו את מערכת

האוביקוויטיין. על הישגיהם בגילוי האוביקוויטיין הם זכו להכרה עולמית רחבה. בין השאר הוענק להם פרס ישראל, פרס אלברט לסקר למחקר רפואי - הפרס השני בחשיבותו אחרי פרס נובל - ופרס נובל לכימיה לשנת 2004.

הריבזום - יצרן החלבונים של התא: מה הקשר בינו לאנטיביוטיקה?

פרופ' עדה יונת, מכון ויצמן למדע

הריבזום הוא רכיב תוך-תאי מורכב ביותר. הוא משמש בית חרושת לייצור חלבונים, המבצעים את רוב תהליכי החיים. חלקם מתפקדים כאנזימים המבצעים פעילויות מוגדרות, אחרים משמשים נוגדנים, מוליכי חמצן או קולטנים. המשותף לכולם הוא שאופן פעילותם תלוי לחלוטין במבנם המרחבי, הנקבע לפי רצף החומצות האמיניות שלהם, וזה נקבע לפי רצף הבסיסים בגנים המקודדים אותם. שלבי הפעולה הבסיסיים הקשורים לתהליך תרגום הצופן הגנטי אותרו ונחקרו ביוכימית במשך יותר משנות דור, אך לא היה שמץ של מידע על פרטי תהליך תרגום הצופן הגנטי ויצירת החלבונים. עוד היה ידוע כי הריבזומים הם צברים גמישים הבנויים ממספר רב של מרכיבים המאורגנים בשתי יחידות משנה - גדולה וקטנה - שמתאחדות לריבזום השלם עם תחילת תהליך התרגום וחוזרות להתקיים בנפרד כאשר הריבזום אינו עוסק ביצירת החלבון. אך לא היה ידוע מה קורה בתוך הריבזום.

פרופ' עדה יונת פיתחה שיטת מדידה מהפכנית של איסוף נתונים קריסטלוגרפיים בטמפרטורות נמוכות מאוד, וזו אפשרה את קביעת המבנה הקריסטלוגרפי של הריבזום. בשנת 2000 פוענחו המבנים הראשונים של שתי יחידות המשנה של הריבזומים והביאו לפריצות דרך חשובות במחקר התפקוד של הריבזומים. לא זו אף זו, היות שתהליך בניית החלבונים הוא בעל חשיבות רבה עד מאוד לחיי התא, כמעט מחצית מהתרופות האנטיביוטיות המצויות בשימוש כיום תוקפות את הריבזום. פיענוח מבנה הריבזום של חיידקים מאפשר פיתוח תרופות אנטיביוטיות חדשות. מחקרה החלוצי של פרופ' יונת זיכה אותה בפרס נובל בכימיה לשנת 2009.

פיתוח תרופת הקופקסון לטיפול במחלת הטרשת הנפוצה

פרופ' רות ארנון ופרופ' מיכאל סלע, מכון ויצמן למדע

פיתוח תרופות הוא תחום העיסוק של חברות פארמה. באוניברסיטאות או במכוני מחקר העיסוק העיקרי הוא במחקר בסיסי, אשר ייעודו הוא הרחבת מכלול הידע בעולם, והוא מודרך על ידי סקרנותו המדעית של החוקר. עם זאת קורה לעתים שמחקר בסיסי לחלוטין מניב ממצא שניתן לתרגום מעשי ולפיתוח יישומי. זו הייתה השתלשלות הדברים שהובילה ממחקר בסיסי במכון ויצמן שעסק בפולימרים סינתטיים והשפעתם על מחלה ניסויית בחיות מעבדה, לפיתוח תרופת הקופקסון לטיפול במחלת הטרשת הנפוצה. עבודה זו זיכתה את פרופ' ארנון ופרופ' סלע בכיבודים ובפרסים יוקרתיים, כולל פרס וולף ופרס ישראל, ובשביל חברת טבע - הקופקסון הוא מוצר הדגל, שמשווק בעולם כולו ועוזר למאות אלפי חולים.

אפיגנטיקה - לא רק הגנום קובע

פרופ' חיים סידר ופרופ' אהרן רזין, האוניברסיטה העברית בירושלים

המחקר פורץ הדרך של פרופ' סידר ופרופ' רזין לפני יותר משלושה עשורים הניח את היסודות לאפיגנטיקה, תחום מדעי חדש בביולוגיה, החובק את מרב הנושאים הנחקרים היום בביולוגיה המודרנית וברפואה. הם הראו שתהליכים כימיים המתרחשים לאחר שרצף הדי־אן־איי נקבע משחקים תפקיד מרכזי בהתפתחות גוף האדם, בבריאות ובחולי. הם הראו שמתילציה של די־אן־איי והשינויים שבעקבותיה הם בסיס לתהליכים הביולוגיים, כולל התפתחות העובר ותהליכי ההזדקנות. לאחרונה התברר שלמתילציה של די־אן־איי תפקיד גם בהיווצרות גידולים סרטניים.

תרומתם של פרופ' סידר ופרופ' רזין להתפתחות המהירה של חקר האפיגנטיקה והשלכותיו על כל תחומי המחקר בביולוגיה זוכה להכרה בין-לאומית רחבה. שני החוקרים זכו בפרסים יוקרתיים בחקר מדעי החיים והרפואה, ובהם פרס ישראל, פרס וולף, פרס א.מ.ת, ולאחרונה פרס גרדנר היוקרתי ברפואה.

פרות ההגות והמחשבה

החברה בת זמננו, המוצפת במידע לא מבוקר יותר מאי פעם, זקוקה לחשיבה ביקורתית על התנסויותיהם של בני האדם, על המבנים החברתיים שהם הקימו ועל המשמעויות שהם נתנו לחייהם. מדעי הרוח והחברה תכליתם לפתח חשיבה זאת, שתאפשר בחינה רציונלית של תופעות בתולדות כל העמים ואת חקר המורשת הלאומית, מבלי להאדירה ביחס למורשות אחרות. אנשי מדעי הרוח והחברה הישראלים, החיים בארץ המצויה זה אלפי שנים בצומת של ציוויליזציות, תורמים להבנת תרבויות שונות, קרובות כרחוקות, תוך שהם מנסים כוחם לא פעם בחקירתן ההשוואתית. אנו מביאים כאן דוגמאות לעבודותיהם של חוקרים וחוקרות ישראלים שהיו לציוני דרך במחקר העולמי.

חידה של כתב נכחד

פרופ' מרגלית פינקלברג, אוניברסיטת תל-אביב

באלף השני לפני הספירה היה האגן המזרחי של הים התיכון, ובכלל זה הים האגאי, לזירת היווצרותן של שיטות כתב חדשות, שונות במהותן מכתב היתדות ומהכתב ההירוגליפי שהיו נקוטים באותה עת באזורים סמוכים. במחקר המודרני קיבלו כתבים אלה שם משותף: "הכתבים האגאיים". בלטו במיוחד שניים מהכתבים, שנתגלו בשנת 1900 באי כרתים. אלה כתבים קוויים (לינאריים), וארתור אוונס (Evans), הארכאולוג הבריטי שגילה אותם, נתן להם את הכינויים "הכתב הקווי א" (Linear A) ו"הכתב הקווי ב" (Linear B). בשנות החמישים של המאה העשרים פיענח מייקל ונטריס (Ventris) הבריטי את הכתב הקווי ב (שבינתיים נתגלה גם ביוון היבשתית) והוכיח מעל לכל ספק ששפתו יוונית. הכתב הקווי א נותר לא מפוענח. בסדרת פרסומים בשנים 1991–2001 הציעה פרופ' מרגלית פינקלברג דרך לפיענח כתב זה ולזיהוי השפה שהוא מייצג כאחת השפות האנטוליות. כמו כן היא חקרה את יחסי הגומלין שבין השפות האנטוליות לבין שאר השפות ההודו-אירופיות ואת הגנאלוגיה שלהן. על הישגיה המרשימים זכתה פרופ' פינקלברג בפרס רוטשילד.

גבולותיה של אימפריה: הצבא הרומי במזרח

פרופ' בנימין איזק, אוניברסיטת תל-אביב

מחקרו של פרופ' בנימין איזק על הצבא הרומי האימפריאלי ועל האימפריאליזם הרומי שינו את הבנת תפקידי ההיסטוריים של הצבא בפרובינציות של האימפריה. בעבר הניחו היסטוריונים וארכאולוגים שהתפקיד העיקרי של הצבא הרומי היה הגנה על הפרובינציות באזורי הגבול מפני אויבים מבחוץ, ואילו פרופ' איזק הראה שיעדיהן של הרשויות הרומיות היו שונים בתכלית: שיטור פנימי בפרובינציות והכנה להתרחבות נוספת. עניין נוסף שאיזק נדרש לו הוא השאלה אם אמנם ננקטה באימפריה הרומית "אסטרטגיה רבת". איזק טען שמדובר במושג מודרני שאינו שייך למציאות של העת העתיקה, משום שחסרו אז הכלים הרעיוניים והטכניים הדרושים לגיבוש תפיסה כזו, ובהעדרם הונחו דרכי הפעולה של הצבא הרומי על ידי המנהג ועל ידי ניסיונותיו וכישלונותיו בטווח הקצר. על הישגיו אלה זכה פרופ' איזק בפרס ישראל.

מהפכנות דתית וחקר הדתות

פרופ' גדליה סטרומזה, האוניברסיטה העברית בירושלים

פרופ' גדליה סטרומזה חוקר את הדתות והזרמים הרוחניים באגן הים התיכון ובמזרח התיכון מתקופת האימפריה הרומית המוקדמת ועד לשלהי העת העתיקה - מלידתה של הנצרות ועד להופעת האסלאם. פרופ' סטרומזה מתעניין במיוחד במנשק שבין הדתות והתרבויות השונות ובהשפעותיהן ההדדיות - בין היהדות לנצרות ובין דתות זרמים דואליסטיים ומזרחיים כגנוסיס ומניכאיזם ואסכולות פילוסופיות לזרמים מרכזיים ביהדות חז"ל ונצרות הקדומה. כחוקרן של תופעות דתיות מתרבויות שונות תרם פרופ' סטרומזה גם לתולדות מדע הדתות כתחום דעת. בספר שפורסם לאחרונה הוא הראה שלידתו של מדע זה היא בראשית העת החדשה, מהתגליות הגדולות ועד למהפכה הצרפתית, ולא כפי שמניחים בדרך כלל, בשלהי המאה התשע־עשרה, בעת הקמת הקתדרות הראשונות לחקר הדתות באוניברסיטאות האירופיות. על הישגיו אלה זכה פרופ' סטרומזה בפרס הומבולדט.

סובלנות דתית וכפייה דתית במסורת האסלאם

פרופ' יוחנן פרידמן, האוניברסיטה העברית בירושלים

השאלה מה ראוי להיות יחסם של המוסלמים כלפי מאמיני הדתות האחרות נדונה במסורת המוסלמית מראשיתה, שכן האסלאם בא במגע עם דתות אחרות (עבודת האלים הערבית הקדומה, היהדות, הנצרות, הדת הפרסית הזורואסטרית ומאוחר לאלה גם דתות הודו) כמעט למן היווסדו. המפגש בין האסלאם לבין הדתות האחרות התקיים הן בחצי האי ערב והן באזורים הנרחבים שכבשו המוסלמים מאז המאה הראשונה לתולדותיהם, ולווה בפולמוס חריף. מחקרן של פרופ' פרידמן מנתח את השאלה הזאת ואת הגישות ההלכתיות השונות כלפי אנשים שהיו מוסלמים ונטשו את האסלאם. פרק מיוחד מוקדש לדיני הנישואים המעורבים בהלכה המוסלמית. הוא מבהיר את מעמדה של אישה יהודייה או נוצרייה בבית בעלה המוסלמי ומסביר את הסיבות לדין הקובע שגבר מוסלמי רשאי לשאת לאישה יהודייה או נוצרייה, אך אישה מוסלמית אינה רשאית להינשא לגבר שאינו מוסלמי. על הישגיו זכה פרופ' יוחנן פרידמן בפרס לנדאו.

גניזת קהיר - צוהר לחיי אבותינו

פרופ' מרדכי עקיבא פרידמן, אוניברסיטת תל־אביב

הגניזה נתגלתה בסוף המאה התשע־עשרה בבית הכנסת על שם עזרא שבקהיר העתיקה, הוא בית כנסת "הירושלמים" של ימי הביניים. יותר משלוש מאות אלף קטעים שרדו בגניזה, הן כתבי קודש יקרי ערך מכל סוג הן כתבי חול חשובים מכל סוג. הכול בגניזה: מקרא ותלמוד, שירה ופיוט, פילוסופיה, שאלות ותשובות, חיבורי הלכה ואמונות ודעות, מרשמי תרופות, מגיה, שטרי אירוסין, כתובות וגטין, מכתבים אישיים, מכתבי סוחרים וחשבונותיהם, ענייני קהילה ועסקי הפרט. כתבי היד המקוריים נכתבו בכל הארצות שיהודים הגיעו אליהן, מספרד ועד הודו. בתקופה הקלסית של חקר הגניזה, מן המאה העשירית עד למאה השלוש־עשרה, לא חיו היהודים בגטאות אלא באו במגע עם שכניהם הלא יהודים בכל תחומי החיים. הגניזה נעשתה אפוא מקור ראשון במעלה לחקר החברה היהודית והמוסלמית, לחקר הסחר הבין־לאומי בים התיכון ובאוקיינוס ההודי ועוד. בהרבה תחומים חוללה הגניזה מהפכה גמורה בידיעותינו. נמצאו תגליות מופתיות על גדולי ישראל, כמו הרב סעדיה גאון, יהודה הלוי והרמב"ם, אך גם תיאורים מרתקים של החיים היומ־יומיים, ענייני חומר וענייני רוח. אולם בשל הכמות האדירה של קטעים, בשל מצב הישמרותם הגרוע ופיזורם כיום בספריות על פני תבל התקדם המחקר בעצלתיים במשך כמה דורות. תפנית חשובה חלה עם מחקריו של פרופ' שלמה דב גויטיין (1985-1900). הוא סקר את כלל קטעי הגניזה שבערבית

יהודית (ערבית בינונית באותיות עבריות) ובעברית ותיאר את חברת היהודים על היבטיה השונים כנציגת החברה היס־תיכונית.

פרופ' עזרא פליישר יישם אותה שיטה של בדיקת כל האוספים, זיהוי כל הקטעים שהם מושא מחקרו וסידורם במפעל שהקים לחקר השירה והפיוט בגניזה. בזכות אלפי הקטעים שסודרו ופוענחו במפעל הוא משמש בית היוצר לכל מחקר רציני בשירה, בפיוט ובתפילה בעת העתיקה ובימי הביניים.

מורשתו התרבותית העשירה של עם ישראל בארץ ישראל בימי קדם, שנחשפה בחקר הפיוט, נתגלתה בתחומים רבים אחרים. פרופ' מרדכי עקיבא פרידמן הצליח לשחזר מעשרות קטעים את המסורות הייחודיות לכתיבת הכתובה בארץ ישראל. הוא מצא שהנישואין נקראו "שותפות", והמשך השותפות היה תלוי ברצון הצדדים לקיימה באהבה. תנאי מיוחד ייפה את כוחה של האישה, כמו את כוחו של האיש, לפתוח בהליכי גירושין אם האהבה הפכה בעיניה לשנאה.

היהודים היו שותפים מלאים גם בסחר הבין־לאומי. אחד מיסודות הכלכלה בעולם היה הסחר שבין ארצות הים התיכון להודו ולשאר ארצות המזרח הרחוק, שמהן יובאו פלפל, תבלינים, צמחי מרפא וסחורות יקרות אחרות. פרופ' גויטיין גילה בין שרידי הגניזה מאות מכתבים מן הסוחרים שנסעו הלך וחזור להודו ועסקו בעסקי היבוא ויצוא הללו. אין בעולם שום אוסף דומה של תעודות מן הסחר באוקיינוס ההודי בימי הביניים. המכתבים האלה מעידים עדות ברורה לא רק על החברה היהודית במאות האחת־עשרה והשתיים־עשרה במצרים וצפון־אפריקה, ספרד, תימן והודו, אלא אף על ניהול הפעילות הכלכלית הבין־יבשתית ההיא בכלל. פרופ' פרידמן השלים את האוסף, ובידו מתפרסמת הדרתו. שישה כרכים כבר יצאו לאור ועוד שניים כעת בדפוס.

חקר הגניזה משנה את פני מדעי היהדות ומדעי האסלאם ואת חקר החברה והכלכלה בימי הביניים בכלל ובוודאי יוסיף לשנותם עוד שנים רבות. על הישגיו אלה זכה פרופ' עקיבא פרידמן בפרס מכון בן־צבי בשנת 1982 ובשנת 2011.

מעמד האישה היהודייה בימי הביניים

פרופ' אברהם גרוסמן, האוניברסיטה העברית בירושלים

התמורות שחלו במעמדה של האישה היהודייה בימי הביניים בארצות האסלאם ובאירופה הנוצרית הן מנושאי מחקריו של פרופ' אברהם גרוסמן. הוא הרים תרומה מקורית חשובה לחקר נושא זה ופרסם מאמרים רבים עליו, בעברית ובלועזית, ושני ספרים: (1) "חסידות ומורדות: נשים יהודיות באירופה בימי־הביניים"; (2) "והוא ימשול בך? האישה במשנתם של חכמי ישראל בימי־הביניים". הספר הראשון עוסק במעמדה של האישה היהודייה במשפחה ובחברה בהשוואה מקיפה למציאות בחברה המוסלמית ובחברה הנוצרית בנות הזמן. הספר השני בודק את מקומה של האישה במשנתם של עשרים מחכמי ישראל הגדולים בימי הביניים, ובכללם חכמי הלכה, פילוסופים, מקובלים ומשוררים. הממצאים מבוססים בין השאר על מקורות ארכיוניים ועל כתבי יד.

מחקריו של פרופ' גרוסמן על מעמד האישה הם תרומה מקורית חשובה לחקר נושא חשוב, שעד פועלו של פרופ' גרוסמן היה מוזנח במידה רבה. על הישגיו אלה זכה פרופ' גרוסמן בפרס ביאליק ובפרס ישראל.

ספרייה כמקור היסטורי

פרופ' איתן קולברג, האוניברסיטה העברית בירושלים

אחד ממחקריו העיקריים של פרופ' קולברג עוסק בספרייתו של עלי בן מוסא אבן טאווס (-1193/1266), מלומד שיעי שחי בעיראק בתקופת הפלישות המונגוליות. אבן טאווס היה לא רק סופר

פורה אשר חיבר כשישים ספרים אלא אף חובב ספרים מושבע, ובמשך עשרות בשנים הוא רכש ספרים ושקד על העתקתם של ספרים לספרייתו הפרטית. בדרך כלל ידוע רק מעט על ספריותיהם של מלומדים מוסלמים בימי הביניים; אבן טאווס הוא יוצא דופן, שכן על ספרייתו אפשר ללמוד פרטים רבים ביותר מכתביו: הוא מרבה לצטט בהם מתוך חיבורים שעמדו לרשותו, אשר רובם ככולם השתייכו לספרייתו. על פי עדותו שלו, ספרייה זו הכילה חיבורים רבים בנושאים כגון יסודות הדת, נבואה ואמאמה, הלכה, היסטוריה, פרשנות הקוראן, תפילות, גנאלוגיה, רפואה, דקדוק, שירה, אלכימיה ואסטרונומיה. ספריו של אבן טאווס וההתייחסויות הנרחבות והמדויקות לחיבורים שבספרייתו מאפשרים הצצה נדירה לעולמו האינטלקטואלי של מלומד משלהי תקופת הזוהר העבאסית, ושחזור ספרייתו מוסיף נדבך חשוב לידיעותינו על אודות הספרות הערבית של ימי הביניים ועל ערכה כמקור היסטורי. על הישגיו אלה, וכן על מחקריו בדוקטרינה ובהיסטוריה השייעית, זכה פרופ' קולברג בפרס רוטשילד למדעי הרוח ובפרס א.מ.ת. למזרחנות.

הפשיזם כ"ימין מהפכני" באירופה

פרופ' זאב שטרנהל, האוניברסיטה העברית בירושלים

מחקריו של פרופ' זאב שטרנהל בתחום המחשבה המדינית המודרנית סובבים סביב שני מוקדים עיקריים, והם בבחינת שני מעגלים: המעגל החיצוני, הרחב, עניינו חקר המסורת של האנטי-נאורות מאז המאה השמונה-עשרה ועד אמצע המאה העשרים, ואילו המעגל הפנימי מתמקד בחקר הימין הרדיקלי והפשיזם. בעבודתו של פרופ' שטרנהל ארבעה חידושים עיקריים: החידוש הראשון הוא טביעת המונח האנליטי "ימין מהפכני" לתיאור תופעה חדשה שצמחה בסוף המאה התשע-עשרה על רקע המודרניזציה המהירה של יבשת אירופה; החידוש השני הוא הקביעה שהפשיזם הוא קודם כול תופעה תרבותית אירופית כוללת ורק אחרי כן תופעה פוליטית. זה היה סוד הצלחתו האמיתי בכל רחבי אירופה. עבודתו של פרופ' שטרנהל הדגישה, בניגוד לתפיסה המקובלת, כי הפשיזם הוא אידאולוגיה מגובשת ואוטונומית לא פחות מהליברליזם ומהסוציאליזם. הפשיזם קדם למלחמת העולם הראשונה, ולכן אינו תוצר של מלחמה זו ואינו שייך באורח בלעדי לתקופה שבין שתי המלחמות; החידוש השלישי: אי אפשר להסביר את אירופה של המאה העשרים בלי להכיר בחשיבותה העצומה של מחשבת האנטי-נאורות בעיצוב התפתחותה של התרבות האירופית מאז אמצע המאה השמונה-עשרה; החידוש הרביעי הוא כי שורשיו האידאולוגיים של הפשיזם מצויים בצרפת, שהייתה החברה הליברלית המתקדמת ביותר באירופה, ולא באיטליה. על כן המרד בליברליזם ובדמוקרטיה הקדים לפרוץ בצרפת לפני פריצתו בארצות אחרות. על הישגיו אלה זכה פרופ' שטרנהל בשני תוארי כבוד מטעם ממשלת צרפת, *Commandeur des Palmes Académiques* ו"אביר מסדר מדעי הרוח והאמנויות", בפרס ישראל ובפרס מפעל חיים מטעם האגודה הישראלית למדעי המדינה.

מחקר השוואתי של ציוויליזציות

פרופ' ש"נ אייזנשטדט, האוניברסיטה העברית בירושלים

פרופ' שמואל נח אייזנשטדט היה הדמות המרכזית בשדה המחקר של הסוציולוגיה בישראל בחמישים השנים האחרונות. הוא נחשב בעולם לאחד מגדולי החוקרים ומאלה שהשפיעו רבות על המחקר הסוציולוגי וכן על תחומי דעת אחרים. מחקריו וכתביו הם בתחומים שונים של מדעי החברה והרוח ועוסקים בסוגיות כלל-עולמיות של שינוי חברתי, דמוקרטיה, מודרניות ופונדמנטליזם. מתוך מחקר השוואתי והיסטורי של ציוויליזציות שונות הוא ניתח מוסדות, תהליכים ורעיונות, וחלק נכבד מעבודתו יוחד לציוויליזציה היהודית ולחברה הישראלית. בניגוד להנחה שהעולם יתאים את עצמו למודרניות המערבית, הוא הראה שחברות נעשות מודרניות מתוך שמירה על מסורת ייחודית, וכי אין מודרניות אחת בלבד אלא צורות רבות של מודרניות.

בגישתו של פרופ' אייזנשטדט למחקר הוא הדגיש את חשיבותן של פתיחות והפריה הדדית בין אסכולות תאורטיות שונות בתת-תחומי המחקר בסוציולוגיה, ומחקרי עצמם הם מופת לגישה השוואתית מורכבת ועשירה, שמשלבת, משווה ומנגידה רעיונות, ועם זאת יוצרת סינתזה מקיפה. על הישגיו המרשימים זכה פרופ' אייזנשטדט במספר גדול של פרסים, ובהם פרס רוטשילד ופרס ישראל, פרס בלצן הבין-לאומי ופרס הולברג בנורווגיה, הנחשב למקבילו של פרס נובל בתחום מדעי הרוח, החברה והמשפט.

הפסיכולוגיה של המטא-קוגניציה – לדעת שאני יודע

פרופ' אשר קוריאט, אוניברסיטת חיפה

פרופ' אשר קוריאט תרם לחקר הפסיכולוגיה של המטא-קוגניציה – תהליכי-העל שבהם אנחנו עוקבים אחרי התהליכים הקוגניטיביים של עצמנו, מנטרים את פעולתם ומכוונים אותם לפי מטרותינו. הוא הציע תאוריות ומחקר אמפירי בדבר שאלות שהעסיקו פילוסופים משחר הימים כמו השאלה איך אנחנו יודעים שאנחנו יודעים, או איך אנחנו יכולים להיות בטוחים בידע שלנו. במחקרו עסק בתפקידה של החוויה הסובייקטיבית כמתווכת בין תהליכים לא מודעים לתהליכים מודעים, וחקר את תפקידה והשפעתה על הוויסות האסטרטגי של תהליכים קוגניטיביים ושל התנהגות. לעבודותיו של פרופ' קוריאט השלכות חשובות בתחום החינוך והלמידה, קבלת החלטות, עדויות משפטיות, זיכרונות שווא ועוד. על הישגיו אלה זכה פרופ' קוריאט בפרס רוטשילד למדעי החברה, בפרס אוסוולד-קולפה מאוניברסיטת וירצבורג בגרמניה ובפרס ישראל לחקר הפסיכולוגיה.

הכתיבה ההלכתית-מדינית של הרמב"ם

פרופ' יעקב בלידשטיין, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

יעקב בלידשטיין מתחקה אחר הרכיב המדיני בכתיבתו ההלכתית של הרמב"ם ומדגיש בעניין זה את ספר השופטים שלו אשר עוסק באלה: מלכות, מלחמה, רעיון הייצוג וההסכמה, מגמות של הממשל, מקורות הסמכות המדינית, חלוקת הסמכויות והיחס לנכרים. אין הרמב"ם מספק משנה מדינית שהותאמה לקהילה שחיה בגולה אלא מצייר ציבוריות לאומית כמעט אידאלית אף כי ברור שהוא מודע מאוד להוויה הגלותית בת זמנו. מבחינה זאת הדמות המשיחית, המביאה גאולה מדינית, משתלבת במחשבה המיימונית ואיננה סרח עודף שלה.

המרכזיות של הממד המדיני הוליכה את הרמב"ם לסכם את התורה שבעל פה וכן את התאוריה של תורה זו. מכאן הדיון בזקן ממרה, הדמות המסרבת להכיר הכרה מלאה בתורה זו, וכן בנביא היונק את סמכויותיו מספרה אחרת. אותה רגישות הביאה את הרמב"ם להעריך את תהליכי החקיקה ולהתייחס לתהליכי השינוי עד כדי ביטול הלכות.

למרות אופייה החברתי של הגות זו עומד היחיד במרכז, וכך האידיאל המיימוני מתגשם דרך חיי האינטלקט של הפרט, שהחברה וההלכה מאפשרות אותם.

אין בעבודתו של בלידשטיין ניסיון ליישב את הסתירות שבכתיבה המיימונית. העיצוב הספרותי, העריכה המדוקדקת, בחירת המגמה הכוללת והמקיפה – אלה הם התכנים שבלידשטיין הכניס לחקר הרמב"ם. על לומד הרמב"ם להיות קשוב לדיוק שבכתיבה המיימונית, במשנה תורה ההלכתית לא פחות מאשר במורה הפילוסופי.

מחקרו של בלידשטיין מכיר גם בממד ההיסטורי של החיבורים המיימוניים ומתחקה אחר יחסו של הרמב"ם לתנועה הקראית, שעמה התפלמס ועם זאת היה מוכן לאמץ כמה מעמדותיה. על הישגיו אלה זכה פרופ' בלידשטיין בפרס ירושלים במדעי היהדות ובפרס ישראל בחקר מחשבת ישראל.

המשפט בשירות החברה

פרופ' אהרן ברק, פרופ' נילי כהן ועמיתיהם

חקר המשפט בישראל נותן ביטוי למגמות סותרות: מצד אחד עליו לסייע בעיצוב המשפט במדינת ישראל ובקידומו, ולפיכך יש לפרסמו בעברית, ומצד אחר רבים מהמחקרים נושאים אופי כללי, וראוי לחשוף אותם בזירה העולמית. בין כך ובין כך, הן במישור המקומי הן במישור הבין-לאומי רכשה האקדמיה המשפטית בישראל מעמד מרשים ביותר. חוקרי המשפט הישראלים, חברי האקדמיה הלאומית למדעים, תרמו לחקר המשפט בתחומים האלה: פרופ' אהרן ברק פרסם סדרה בת חמישה ספרים העוסקת בתורת הפרשנות בכל תחומי המשפט. כן פיתח את התחום החוקתי בספרו על עקרון המידתיות; פרופ' יצחק אנגלרד פיתח את תחום הנזיקין ופרסם מחקר העוסק בפיצויים לנפגעי תאונות דרכים. המהדורה השלישית של מחקר זה פורסמה בשנת 2005; פרופ' דניאל פרידמן חקר ופיתח את התחום של דיני עשיית עושר ולא במשפט. פרופ' פרידמן ופרופ' נילי כהן פרסמו סדרה בת ארבעה ספרים העוסקת בדיני חוזים של מדינת ישראל. הספר האחרון בסדרה, המוקדש לתרופות בשל הפרת חוזה, יצא בשנת 2011; כל חוקרי המשפט החברים באקדמיה היו מעורבים במיזם הקודיפיקציה של המשפט האזרחי בישראל מטעם משרד המשפטים. חוקרים ישראלים רבים שותפים במיזמים המעצבים דינים בעולם, ובכך תרמו למעמדה הבין-לאומי של ישראל. על הישגיהם המשפטיים זכו החוקרים לשפע של פרסים יוקרתיים, וקצרה יריעה זו מלהכילם.

עיצוב תחום הכלכלה בישראל

פרופ' דן פטינקין ותלמידיו

בסוף שנות השלושים ובתחילת שנות הארבעים של המאה העשרים התגבשה והתבססה הגישה המודרנית בחקר הכלכלה. זו כללה שני מרכיבים מרכזיים: (1) הפרדיגמה הנאו-קלאסית, שבמרכזה האידאל של העמדת התנהלותה של המערכת הכלכלית על דפוס התנהגות רציונלית של הפרטים והיחידות המרכיבים אותה; (2) הכרה בקיומם של כשלי שוק – ובראשם הכשלים "הקיינסיאניים" – שבעטיים אפשר שהמערכת המקרו-כלכלית תקרטע גם כשכל הפרטים המרכיבים אותה עושים כמיטב יכולתם. ראשי החוקרים שביססו את הגישה הזאת באותה עת פעלו רובם ככולם בבריטניה ובארצות הברית.

השיח הכלכלי-אקדמי שהיה קיים במדינת ישראל עם הקמתה ינק רובו ככולו מן המסורות הקונטיננטליות והיה זר בעיקרו לחשיבה הכלכלית שהלכה והתבססה בעולם דובר האנגלית. מצב זה התהפך באחת עם עלייתו ארצה משיקו, בשנת 1949, של פרופ' דן פטינקין. נוסף על היותו של פרופ' פטינקין לכלן מעולה וחוקר רב-פעלים, הוא ניחן גם במנהיגות אינטלקטואלית ובכריזמה מדעית יוצאות דופן, ועד מהרה נתגבשה סביבו קבוצת תלמידים מעולים, רבים מהם "בוגרי" מלחמת העצמאות, שהרימו יחדיו את נס הכלכלה הנאו-קלאסית.

פרות המפגש בין מדע לטכנולוגיה

כנאמר למעלה, למחקר המדעי הבסיסי ייעוד אחד והוא הרחבת מכלול הידע בעולם, והוא מודרך על ידי סקרנותו המדעית של החוקר. עם זאת מחקר בסיסי שכזה מניב בתדירות הולכת וגוברת גם פרות מעשיים אשר מתבטאים בפיתוחים טכנולוגיים. המדע בישראל מתאפיין בחדשנות שבכללה חיפוש מתמיד אחר פריצות דרך, חידושים והמצאות, שבזכותם יצא לו שם בעולם בתאוריה ובמעשה. חברות ההזנק הישראליות זכו לתהילה (ראו הספר *Start-up Nation*³) ותרמו רבות לכלכלת המדינה, וזאת בתחומים שונים – מדעי המחשב, טכנולוגיית התקשורת, אופטיקה, חקלאות, הנדסה רפואית, תרופות וכן פיתוח אמצעי לחימה. בישראל הריכוז הגבוה ביותר של חברות הזנק (3,850) ביחס למספר התושבים, וכן כמה חברות גדולות שמקנות לה מוניטין עולמי. להלן מספר קטן של דוגמאות להמחשה – שלוש בתחום טכנולוגיית המחשבים, שתיים בתחום החקלאות ושתיים בתחום ההתקנים הרפואיים.

מעבדי מחשבים מתקדמים – אינטל ישראל

חברת אינטל ישראל, הפועלת באתרים שונים – ירושלים, חיפה, קריית גת, פתח תקווה, יקום ויקנעם – החלה לפעול ב־1974 עם חמישה עובדים. כיום היא מהיצואניות הראשיות בתחום תעשיית האלקטרוניקה והאינפורמטיקה (1.2 ביליון דולר לשנה). החברה הישראלית משמשת מרכז הפיתוח של אינטל העולמית, ולמעשה כל הפיתוחים ופריצות הדרך של החברה נעשו בארץ, כולל מעבדי המחשבים המשוכללים, ובהם מעבד הפנטיום, שהם לב לבה של החברה. הפיתוחים של אינטל נחשבים הישג טכנולוגי עצום, ובכך תורמים למקומה המכובד של ישראל בעולם הטכנולוגי החזיתי.

החסן נייד – זיכרון פלאש שהופך לדיסק וירטואלי – חברת M-Systems

כמעט כל אדם בחברה המודרנית מכיר את ה"דיסק און קי" (memory stick) – החסן נייד – אותו התקן נייד זעיר שבאמצעותו אפשר לאחסן נתוני מחשב. מעטים הם היודעים שזהו פרי המצאה ופיתוח ישראליים. באפריל 1999 יצאו שלושה ישראלים – אמיר בן, דב מורן ואורון אוגדן – כולם מחברת ההזנק M-Systems הישראלית, עם פטנט של התקן נייד לאחסון נתוני מחשב המבוסס על זיכרון פלאש. בספטמבר 1999 פרסם ישראלי אחר, שמעון שמואלי, פטנט נוסף, עם שכלול של אותו התקן, וכך פרץ לשוק החסן הנייד. לפני כמה שנים נמכרה חברת M-Systems לחברת סאן דיסק ב־1.55 מיליארד דולר.

מציון תצא תורת הדפוס הדיגיטלי – חברת אינדיגו HP

הדפוס הוא תעשייה עתיקת יומין, ובמשך מאות שנים הוא היה תהליך מכני של שכפול אותו מידע, דף אחר דף. בשנת 1977 הקים בני לנדא את חברת אינדיגו, שחזונה היה לאחד את יתרונות הדפוס עם יתרונות הטכנולוגיה המודרנית וליצור מכונת דפוס אופסט דיגיטלי. בכך הייתה אינדיגו לחלוצת הדפוס הדיגיטלי, והיא מפתחת ומספקת פתרונות דיגיטליים פורצי דרך בשביל שוק השילוט וההדפסה המסחרית. עם השנים התפתחה החברה התפתחות דרמטית, וכיום היא מובילה את עולם מערכות הדפוס הדיגיטליות, והמחזור השנתי שלה הוא יותר ממיליארד דולר. לפני תשע שנים נמכרה אינדיגו לחברת HP העולמית, אך עדיין נקראת אינדיגו-HP ונחשבת חברה ישראלית. כל המחקר והפיתוח וחלק מהייצור הם בישראל בשלושה מפעלים לייצור דיו ומכונות דפוס המעסיקים אלפי אנשים. על פי כל התחזיות ישראל תחליף את שלוש החברות הגרמניות המובילות בתחום, וכך תיהפך למעצמה עולמית בדפוס הדיגיטלי.

Dan Senor and Saul Singer, *Start-up Nation: The Story of Israel's Economic Miracle* (New York, 2009). 3

השקיה בטפטוף - המצאה ישראלית חובקת עולם

טפטפת היא אביזר המשחרר מים בזרמים קטנים ("טפטוף"), והיא הבסיס לשיטת ההשקיה המודרנית, שעיקרה הזרמת מים בצניורות פלסטיים ושחרורם בזרמים קטנים ליד הצמח. הזרם הקטן מושג באמצעות חיכוך של המים העוברים במסלול ארוך בטפטפת והפחתת מהירות הזרימה שלהם. יתרונותיו של השימוש בטפטפות (לעומת צינור בעל נקבים זעירים שהיה בשימוש לפני כן) הם סתימות מעטות יותר וחלוקת מים אחידה יותר.

הטפטפת ושיטת ההשקיה המבוססת עליה הומצאו, יוצרו והופצו על ידי המהנדס הישראלי שמחה בלאס ובנו ישעיהו, מסוף שנות החמישים ועד אמצע שנות השישים. את מערכת ההשקיה הניסיונית הראשונה הם התקינו בשנת 1959. שכלולים שנמשכו עד 1965 הביאו לייצור טפטפות קו יעילות ביותר. בשנת 1966 הועברו הייצור והמשך הפיתוח וההפצה למפעל נטפים שבקיבוץ חצרים, שהורחב גם לקיבוצים נוספים. כיום לישראל חלק מרכזי בפיתוח הטפטפות ובייצורן, ומערכות ההשקיה בטפטוף מיוצרות על ידי חברות רבות בישראל ובעולם. המצאה חוללה מהפכה עולמית בשיטות ההשקיה והדישון בחקלאות, והביאה לחיסכון במים ולהגדלת היבולים.

עגבניות השרי - הדובדבן שבחקלאות הישראלית

מדינת ישראל, למרות ממדיה הקטנים ומיקומה באזור חצי-מדברי, היא בעלת חקלאות מפוארת, ולה תרומה רבה מאוד בנושא זה בקנה מידה עולמי. זאת הודות למחקר עתיר ידע שנעשה באוניברסיטאות, כגון פיתוח זני חיטה עתירי חלבון וזני תירס עמיד בפני חרקים. מקומה "על השולחן" בולט במיוחד בעגבניות השרי הפופולריות בעולם, שהזן הנפוץ ביותר שלהן פותח ברחובות על ידי פרופ' נחום קדר ופרופ' חיים רבינוביץ' בפקולטה לחקלאות של האוניברסיטה העברית בירושלים. העגבניות הקטנות דמויות הדובדבן טעימות במיוחד ומשמשות למאכל וגם לקישוט, ונתח השוק שהן תופסות גדל והולך. זרעי עגבניות השרי מהזנים שפותחו כאן בישראל הם מענפי היצוא החשובים של החקלאות הישראלית.

תומכנים - התקנים למניעת התקפי לב - חברת מדינול

בתחום ההתקנים הרפואיים (medical devices) ישראל היא מעצמה, והיא שנייה לארצות הברית במונחים אבסולוטיים. ניתן כאן שתי דוגמאות: הטיפול הפולשני בסתימת כלי דם לבביים החל כבר בשנות השלושים והארבעים של המאה הקודמת בעזרת צנתרים. אולם רק בסוף שנות השמונים הוחל השימוש בתומכנים שהונחו באמצעות הצנתרים. קפיצת המדרגה בתחום זה נעשתה בחברת מדינול הישראלית, אשר בשנת 1992 השיקה את התומכן הגמיש שהיה הרבה יותר יעיל ובטוח מאלה שקדמו לו. מדינול, שהוקמה על ידי יהודית וקובי ריכטר בשיתוף עם גרגורי פנחסיק, פיתחה את סדרת התומכנים "ניר", והיא אחת החברות העיקריות הפועלות בתחום. החברה התחילה בשיווק התומכנים דרך חברת בוסטון סיינטיפיק האמריקנית, אשר כיום משווקת מוצרים משלה, המבוססים גם הם על הפטנטים של מדינול, ולכן משלמים לה תמלוגים. פיתוח התומכנים הוא דוגמה נוספת לתרומה ישראלית מכרעת בזירה העולמית.

הכמוסה (קפטולה) שמחליפה את בדיקות

האנדוסקופיה החודרנית - חברת Given Imaging

חברת גיוון אימגינג הוקמה על בסיס מחקר ופטנטים של ד"ר גבי עידן מרפא"ל. ד"ר עידן ניצל טכנולוגיות טילים שפיתח ברפא"ל במזערו אותן להכנת כמוסה ובה מצלמה זעירה הניתנת לבלעיה

ומשמשת לבדיקה ויזואלית של מערכה העיכול. גיוון אימג'ינג הייתה החלוצה בתחום זה, והראשונה שפיתחה טכנולוגיה של דימות באמצעות כמוסה הנקראת PillCam ומשווקת בכל העולם. בתחילה שווקה הכמוסה רק לצורך בדיקות הושט והמעיי הדק, אולם מאז 2009 משווקת החברה גם קפסולה אחרת כאמצעי לאבחון אי־סדירות במעי הגס. יצאו לחברה מוניטין והיא שיווקה עד עתה יותר ממיליון כמוסות. זוהי דוגמה נוספת לחלוציות של חברה ישראלית בתחום ההתקנים הרפואיים.

פרק ב



פרק ב: תשומות ותפוקות של המערכת המדעית

ראשי פרקים:

- מערך המדע של מדינת ישראל
- תיאור הנוף המדעי העולמי היום
- המערכת המדעית בישראל - נתונים כמותיים בהשוואה בין־לאומית

פרק זה מציג סקירה מבנית וכמותית של הפעילות המדעית מזווית התשומות, כמו למשל אוכלוסייה, מו"פ במגזרים שונים, הוצאה לאומית למו"פ, ומזווית התפוקות – פרסומים ישראליים בהשוואה בין-לאומית וסקירת תחומים ראשוניים ותתי-תחומים.

מערך המדע של מדינת ישראל

ביצוע מו"פ:

מקובל להבחין בין ארבעה מגזרים שבהם מתבצע המו"פ בישראל: המגזר האקדמי, המגזר העסקי, המגזר הממשלתי והמגזר הפרטי שלא למטרות רווח.

המגזר האקדמי

המחקר המתבצע במגזר האקדמי הוא בעיקרו מחקר בסיסי המונע מסקרנות מדעית ובחלקו מחקר יישומי המתמקד בנושאים בעלי פוטנציאל מסחרי. אשר למחקר הבסיסי חשוב לזכור כי בשלהי המאה העשרים התמזגו המדע והטכנולוגיה לישות אחת בלתי נפרדת, והמיזוג ההיסטורי הזה חולל מהפכה מדעית-טכנולוגית, שהיא אבי אבות תעשיות העילית והגלובליזציה. על כן ההבחנה החדה בין מחקר "בסיסי" למחקר "יישומי" מיטשטשת. לעתים קרובות מחקר בסיסי מביא לידי יישום מידי אף על פי שהמחקר נעשה מתוך סקרנות מדעית טהורה. אשר למחקר היישומי, ברוב האוניברסיטאות קיימות חברות יישום שתפקידן להביא את פירות המחקר לידי יישום מסחרי במידת האפשר.

כמעט כל פעילות המחקר במגזר זה מתבצעת במסגרת אוניברסיטאות המחקר (כולל מכון ויצמן למדע). פעילות מחקר מסוימת מתבצעת בכמה מהמכללות האקדמיות.

המגזר העסקי

עיקר המו"פ בישראל (במונחים של הוצאה כספית על ביצוע מו"פ) מתבצע במגזר העסקי – בתעשייה, בשירותי המו"פ (ובהם מעבדות שירות אך בעיקר חברות הזנק שעדיין אינן משווקות את תוצרתן) ובשירותי התכנה. המו"פ במגזר העסקי, רובו ככולו, הוא פיתוח טכנולוגי של מוצרים ותהליכים.

המגזר הממשלתי

המגזר הממשלתי כולל, בהגדרה רחבה, משרדי ממשלה, מכוני מחקר ממשלתיים, רשויות מקומיות, מוסדות לאומיים, המוסד לביטוח לאומי ומוסדות ללא כוונת רווח שהממשלה מממנת את רוב הוצאותיהם, ובכלל אלה בתי החולים הממשלתיים ובתי החולים הציבוריים שעיקר מימנם מהממשלה.⁴

המחקר המתבצע במגזר הממשלתי הוא בעיקרו מחקר שימושי בתחומים שהם באחריותה הישירה של הממשלה (למשל: מים, אנרגיה, אוצרות טבע, בריאות, איכות סביבה, תשתיות תחבורה וכד') ובתחומים עסקיים שבהם ליצרן הבווד לא משתלם לעסוק במו"פ, ולעומת זאת ברמת המשק הלאומי התשואה של המו"פ גבוהה (כגון חקלאות ובינוי). כמה מהמלכ"רים הציבוריים הנכללים במגזר הממשלתי עוסקים במחקר במדעי הרוח (יד ושם, יד בן-צבי ועוד).

4 הדוח הנוכחי אינו דן במו"פ הביטחוני, שהוא חלק נכבד מהמו"פ הממשלתי.

מלכ"רים פרטיים

רוב המלכ"רים הפרטיים העוסקים במחקר מתמקדים בתחום מדעי החברה והרוח. כמו כן מתקיים מחקר רפואי בחלק מבתי החולים הפרטיים המשתייכים למגזר זה.

מימון המו"פ

המחקר המתבצע במגזר האקדמי ממומן ברובו על ידי הממשלה: באמצעות ות"ת, כחלק מההקצבה הממשלתית למוסדות להשכלה גבוהה; באמצעות תקציבי מחקר של משרדי הממשלה; באמצעות קרנות מחקר שהממשלה משתתפת במימון: הקרן הלאומית למדע, קרנות דו-לאומיות ותכנית המו"פ של האיחוד האירופי. תפקיד חשוב במימון המחקר ותשתיות המחקר ממלאות תרומות פילנתרופיות, בעיקר מחו"ל. מקורות מימון אחרים למחקר האקדמי הם המגזר העסקי בארץ ובחו"ל, קרנות מחקר מחו"ל ומימון עצמי.

המו"פ המתבצע במגזר העסקי ממומן ברובו הגדול על ידי החברות המבצעות אותו ועל ידי מקורות מימון עסקיים אחרים מהארץ ומחו"ל, כגון קרנות הון סיכון וחברות רב-לאומיות. חלק קטן יחסית מהמו"פ העסקי ממומן על ידי מקורות ממשלתיים, בעיקר המדען הראשי של משרד התמ"ת, וכן על ידי קרנות דו-לאומיות למחקר תעשייתי ותכנית המחקר של האיחוד האירופי.

המחקר המתבצע במגזר הממשלתי ממומן ברובו הגדול על ידי הממשלה, ובמידה מעטה – מהזמנות מחקרים על ידי המגזר העסקי וקרנות מחקר מחו"ל.

הממד הכספי של ביצוע המו"פ במגזרים השונים מוצג בלוח דלהלן. נתונים מפורטים יותר מוצגים בהמשך הפרק הנוכחי.

לוח ב1: הוצאה לאומית למו"פ אזרחי לפי מגזר מממן ומגזר מבצע, 2008⁵

מגזר מבצע					
מלכ"רים פרטיים	השכלה גבוהה	ממשלתי	עסקי	סך הכול	
מיליוני ש"ח					מגזר מממן
1,035	4,646	1,313	27,493	34,487	סך הכול
146	440	62	17,267	17,915	עסקי
278	2,174	1,230	1,132	4,814	ממשלתי - סך הכול
52	1,924	122	0	2,098	מזה: באמצעות ות"ת ⁶
4	676	9	0	689	השכלה גבוהה
125	405	9	0	539	מלכ"רים פרטיים
482	951	3	9,094	10,530	ממנים מחו"ל
אחוזים לפי מגזר מבצע					
3.0	13.5	3.8	79.7	100.0	סך הכול
0.8	2.5	0.3	96.4	100.0	עסקי
5.8	45.2	25.6	23.5	100.0	ממשלתי - סך הכול
2.5	91.7	5.8	0	100.0	מזה: באמצעות ות"ת
אחוזים לפי מגזר מבצע					
0.6	98.1	1.3	0	100.0	השכלה גבוהה
23.2	75.1	1.7	0	100.0	מלכ"רים פרטיים
4.6	9.0	0	86.4	100.0	ממנים מחו"ל
אחוזים לפי מגזר מממן					
100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	סך הכול
14.1	9.7	4.7	62.8	51.9	עסקי
26.9	46.7	93.7	4.1	14.0	ממשלתי - סך הכול
5.0	41.3	9.3	0	6.1	מזה: באמצעות ות"ת
0.4	14.5	0.7	0	2.0	השכלה גבוהה
12.1	8.7	0.7	0	1.6	מלכ"רים פרטיים
46.5	20.4	0.2	33.1	30.5	ממנים מחו"ל

5 המקור: הלמ"ס.

6 הוועדה לתכנון ולהקצוב של המל"ג.

שירותים למו"פ:

מערך המו"פ מסתייע במגוון של שירותים החיוניים לפעילותו התקינה: ספריות מדעיות, מרכזי מידע, מעבדות בדיקה, חברות להעברת ידע, משרדי פטנטים, יחידות ממשלתיות כגון מנהלי מחקר, רשם הפטנטים, מכון התקנים, המנהלת הישראלית למו"פ האירופי (ISERD) ועוד.

לסיכום אפשר לומר כי מערך המדע של ישראל כולל את כל המרכיבים המוסדיים הנדרשים לפעילות מדעית נרחבת, מגוונת ופורייה, והמאפיינים את מערכי המדע של המדינות המפותחות. עם זאת למערך המדע הישראלי גם מאפיינים הייחודיים לו, כפי שיובהר בהמשך הפרק.

תיאור הנוף המדעי העולמי היום

היקף המדע גדל בעולם כולו. מאז תחילת המאה העשרים ואחת ההוצאה העולמית על מו"פ כמעט הוכפלה, כמות הפרסומים גדלה בשליש, ומספר המדענים מוסיף לעלות (ראו לוח ב2). צפון-אמריקה, יפן, אירופה ואוסטרליה – בכולן הייתה צמיחה: כל אחת מהן הגדילה את ההוצאה בכשליש בין השנים 2002 ו-2007. באותה תקופה "מדינות מתפתחות", לרבות הכלכלות המתהוות של סין, הודו וברזיל, הכפילו ויותר מכך את ההוצאה על מו"פ, ובכך הגדילו את תרומתן להוצאה העולמית למו"פ ב-7% – מ-17% ל-24%.

לוח ב2: מדע גלובלי במספרים⁷

מספר המאמרים בכתבי עת מוערכים (אלפים)	מספר החוקרים (מיליונים)	% הוצאות מו"פ מתמ"ג	הוצאות מו"פ ⁹ במיליארדי דולרים	תמ"ג ⁸ במיליארדי דולרים
1,200 (2010)	5.7 (2007)	~1.9%	1,100 (2007)	58,920 (2009)
780 (2000)	4.0 (1995)	~1.7%	525 (1996)	31,270 (1999)

נוף המדע העולמי השתנה אף הוא עם התרחבות רשתות העבודה הכלל-עולמיות. ברשתות אלה משתפים פעולה מדעני מדינה אחת בינם לבין עצמם ובינם לבין עמיתיהם ממדינות אחרות, וזאת במסגרות מסודרות לאומיות או רב-לאומיות (כפי שהדבר נעשה במיזם הגנום האנושי). חלק מרשתות העבודה מבוססות על שיתופי פעולה בארגונים בינלאומיים (כגון CERN – הארגון האירופי למחקר גרעיני); אוניברסיטאות ומוסדות מחקר אחרים זוכים למימון בין-לאומי מטעם חברות רב-לאומיות וקרנות מימון גדולות (כגון גייטס), או מטעם ארגונים רב-לאומיים כגון האיחוד האירופי. רשתות עבודה כלל-עולמיות אלה משפיעות יותר ויותר על התנהלות המדע ברחבי העולם.

מגמות והתפתחויות במדע העולמי

רקע היסטורי: לאורך ההיסטוריה היו מערכות התמיכה הכלכלית במדענים ובעבודתם גורמים חשובים באופיו של מחקר מדעי ובקצב התקדמותו. מימי הביניים ועד לתקופת ההשכלה חיפשו חוקרים צורות שונות של פטרונות או מימנו את עבודתם בעצמם. במאה השמונה-עשרה והתשע-

7 הנתונים הקיימים ברמה הגלובלית הם אומדנים שחושבו בדרך של צירוף נתונים ממקורות השונים זה מזה ברמת מהימנותם. חלק מהנתונים אינם זמינים ברצף, והנתונים הכספיים, המומרים לדולרים, לא תמיד מנוכחים מהשפעת השינויים ברמת המחירים. עם זאת כאשר בוחנים את השינויים המצטברים בתקופות זמן ארוכות אפשר לזהות את המגמות השולטות.

8 מקור הנתונים על התמ"ג: IMF database.

9 מקור הנתונים על הוצאות למו"פ ומספר חוקרים: Science and Engineering Indicators 2012, U.S.

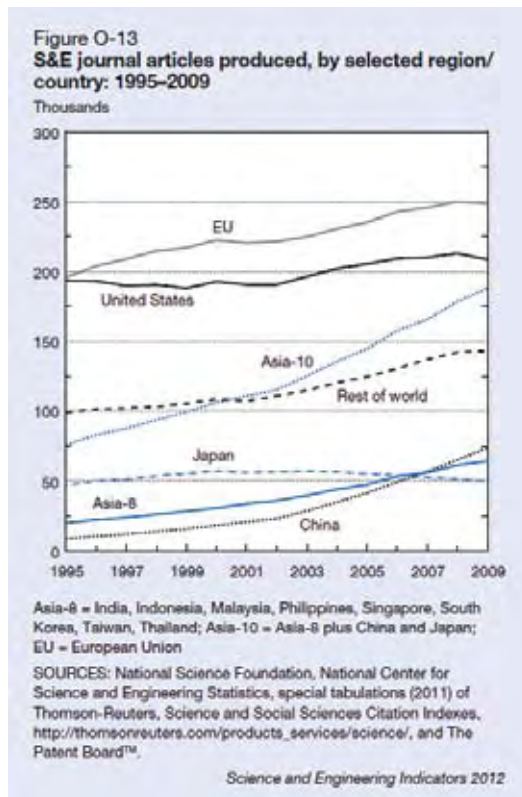
10 מקור הנתונים על מספר הפרסומים: Thomson Scientific, National Science Indicators. עיבוד הנתונים: מוסד נאמן.

עשרה החלו תחומי דעת רבים להתמקצע, וגם מימון ממשלתי בדמות "פרסים" או קתדרות באוניברסיטאות המחקר קידם את המחקר המדעי. מן המאה העשרים מעצב את מימון המחקר המדעי מגוון רחב של מקורות, כולל ארגונים ממשלתיים, מימון ביטחוני-צבאי וחסויות עסקיות ופילנתרופיות. השינוי הגדול חל במלחמת העולם השנייה כאשר המדע נרתם למאמץ המלחמתי. הצלחתם המדהימה של המדענים בפתחם בזמן קצר יחסית אמצעי לחימה והגנה – ובהם הרדאר, הגומי הסינתטי, וכן "פצצת האטום", שתרמו תרומה מכרעת לניצחון בעלות הברית – שכנעה את מקבלי ההחלטות שמדע הוא "כוח" ושיש לטפחו למען ביטחון המדינה וצרכיה, ומאז ועד היום הזה תמיכת המדינה במחקר המדעי הולכת וגוברת בכל העולם. למן המחצית השנייה של המאה העשרים ועד היום התבהר יותר ויותר שהתמיכה במחקר המדעי הבסיסי נושאת פירות כלכליים אדירים. למעשה את הגידול המתמיד בתמ"ג של הארצות המפותחות אפשר לייחס בעיקר לחדשנות מדעית-טכנולוגית שמקורה במחקר המדעי הבסיסי.

תפוקה מדעית עולמית

ארצות הברית מובילה את העולם במחקר: 20% מן המאמרים המדעיים מקורם בארצות הברית, היא שולטת בטבלאות האוניברסיטאות המובילות בעולם ומשקיעה כמעט 400 מיליארד דולר לשנה במו"פ ציבורי ופרטי. גם הממלכה המאוחדת, יפן, גרמניה וצרפת ואחוזות כל אחת בעמדה חזקה בטבלאות הדירוג העולמיות: הן מפיקות מאמרים באיכות גבוהה ומושכות אליהן מדענים – לאוניברסיטאות שלהן ולמכוני המחקר שלהן, שהם הטובים בעולם. חמש מדינות אלה לבדן אחראיות ל-59% מכלל ההוצאה על המדע בעולם כולו.

איור ב1: פרסומים במדע וטכנולוגיה לפי אזור/מדינה: 1995-2009



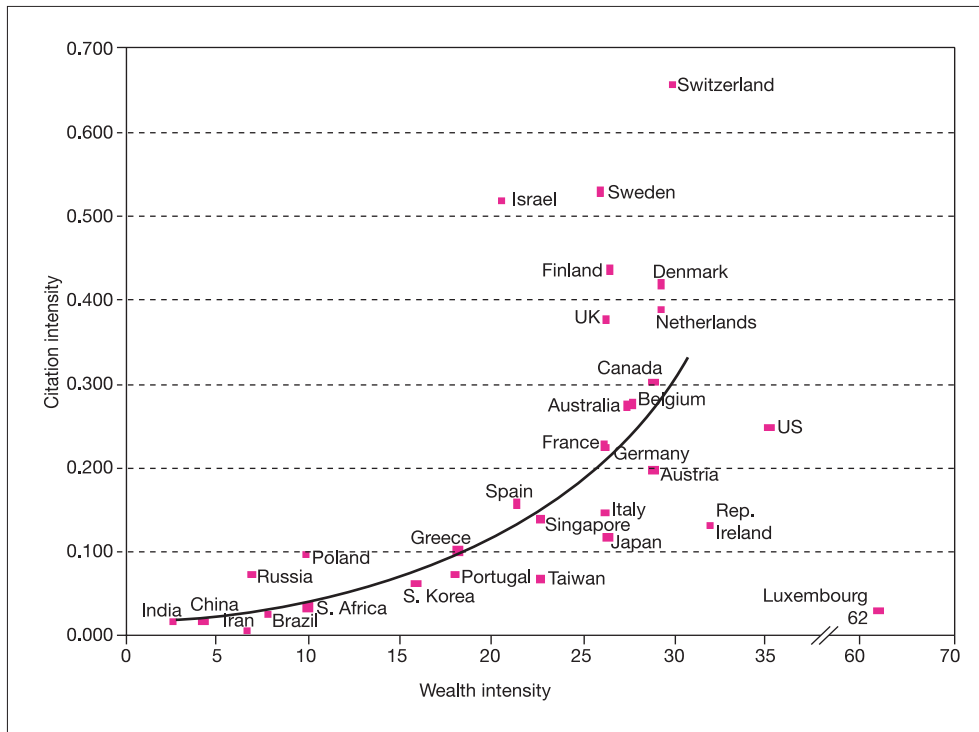
עם זאת מדינות אלה אינן שולטות במדע העולמי כולו. בין השנים 1996 ו-2008 קטן חלקה של ארצות הברית במספר המאמרים ב-14%, חלקה של יפן קטן ב-22% ושל רוסיה – ב-37%. אנגליה, גרמניה וצרפת נסוגו אף הן במונחים יחסיים. איור ב1 מראה כיצד מספר המאמרים צמח, וכיצד החלוקה ברחבי העולם רבתה, וכיצד השתנתה בשנים האחרונות, משנת 1999 ועד שנת 2009.

עם הצטרפות מדינות ענקיות כמו סין והודו ואחרות לפעילות המדעית ירד כמובן חלקן היחסי של המדינות המנהיגות את התפוקה המדעית בסך הפרסומים העולמי (אם כי במספר מוחלט של פרסומים הן המשיכו לגדול). סין הגדילה את מספר הפרסומים שלה עד כדי כך שהיא כעת השנייה בתפוקת המאמרים בעולם. הודו טיפסה מהמקום ה-13 בשנת 1996 למקום ה-10 בשנים 2004-2008. עוד עלו בדירוג דרום-קוריאה, ברזיל, תורכיה, מדינות בדרום מזרח אסיה, כמו סינגפור, תאילנד ומלזיה, ומדינות אירופיות כמו אוסטריה, יוון ופורטוגל. כל אלה שיפרו את מעמדם בטבלאות הדירוג של המדע העולמי.

באיור הבא מוצגת עצמת האיכות המדעית של מדינה, הנמדדת לפי מספר הציטוטים למאמרים שפורסמו על ידי מדעניה, מול העצמה הכלכלית, הנמדדת לפי התמ"ג לנפש. לפי הניתוח הזה, שנעשה בשנת 2004, העצמה המדעית של מדינת ישראל גבוהה מאוד יחסית למשאביה הכלכליים (באיור הדבר מתבטא בהפרש הגובה שבין מיקומה של ישראל בו לבין הגרף המקשר בין שתי העצמות), ורק שווייץ ושוודיה משתוות אליה. מאז 2004 הואט קצב התקדמותה של ישראל מבחינת התפוקה המדעית ואיכותה ביחס למדינות המפותחות האחרות. עניין זה נדון בהרחבה בהמשך פרק זה.

איור 2: עצמת האיכות המדעית ביחס לעצמה הכלכלית של תמ"ג לנפש

Figure 2: Comparing economic and scientific wealth. National science citation intensity, measured as the ratio of the citations to all papers to the national GDP, shown as a function of the national wealth intensity, or GDP per person, for the 31 nations in the comparator group. GDP and wealth intensity are given in thousands of US dollars at 1995 purchasing-power parity. Sources: Thomson ISI, OECD and the World Bank



המקור: David A. King, "The Scientific Impact of Nations", *Nature* 430: 311–16, 2004.

המערכת המדעית בישראל – נתונים כמותיים בהשוואה בין-לאומית

מדינת ישראל נמנית כיום עם קבוצת המדינות המפותחות, ובשנת 2010 התקבלה כחברה מלאה בארגון OECD – "הארגון לשיתוף פעולה כלכלי ולפיתוח" – המאגד כיום 34 מדינות בעלות כלכלת שוק מפותחת ומשטר דמוקרטי. ה-OECD פיתח תקנים אחידים לאיסוף נתונים סטטיסטיים בכל המדינות החברות בו, ותקנים אלה אומצו גם במדינות רבות שמחוץ לארגון, ובכך מתאפשרות השוואות בין-לאומיות בתחומים רבים לרבות מדע וטכנולוגיה. חלק מן ההשוואות הבין-לאומיות, הנוגעות להישגים בתחומי הכלכלה, ההשכלה והמדע והמוצגות בפרק זה, התבססו על נתוני ה-OECD. היות שהמדינות המפותחות חברות ברובן הגדול ב-OECD, דירוג ישראל בקרב 34 המדינות החברות ב-OECD, לפי נתונים אלה, הוא הדירוג שלה בקירוב בקרב כל המדינות בעולם.

נתוני רקע: אוכלוסייה, פריון, תוחלת חיים, תמ"ג

אוכלוסיית ישראל מנתה בשנת 2010 כ-7.7 מיליון תושבים. אוכלוסיית ישראל צעירה יחסית לשאר המדינות החברות ב-OECD. בשנת 2010 היה שיעור בני ה-0-14 בישראל (28%) הגבוה ביותר במדינות ה-OECD, ושיעור בני ה-65+ בישראל היה נמוך מכל מדינות ה-OECD למעט תורכיה. מגמת הזדקנות האוכלוסייה, המאפיינת בעיקר את המדינות המפותחות, לא פסחה על ישראל, אך יש לציין כי בישראל הן שיעור המבוגרים ביותר והן שיעור הצעירים ביותר נותרו ללא שינוי ניכר במשך העשור האחרון.

מדד הפריון הכולל (מספר הלידות הממוצע לאישה בין הגילים 15 ו-49) עומד על 3.3. מדד זה לא השתנה מאז תחילת שנות התשעים, והוא הגבוה ביותר בקרב מדינות ה-OECD.

תוחלת החיים בישראל (80 שנה לגברים ו-83 לנשים) היא מהגבוהות בעולם. ישראל חולקת את המקום הראשון בתוחלת החיים של הגברים עם אוסטרליה, יפן ושווייץ, ואת המקום השביעי בעולם בתוחלת החיים של הנשים עם עוד עשר מדינות.

התמ"ג לנפש בישראל בשנת 2010 הסתכם ב-106.7 אלף ש"ח (28.5 אלף דולר). ברוב המדינות החברות ב-OECD התמ"ג לנפש גבוה יותר. לעומת זאת שיעור הגידול של התמ"ג לנפש בישראל בשנים האחרונות (11.3% בין 2006 ל-2010) היה מהגבוהים ביותר ב-OECD, ואם מגמה זו תימשך, אפשר שישראל תהיה בעתיד במקום גבוה יותר בדירוג לפי מדד זה.

מהנתונים לעיל אפשר להסיק כי בישראל קיים בסיס דמוגרפי וכלכלי איתן שיש בו כדי לאפשר צמיחה בת-קיימה תוך צמצום הפער שבינה לבין הכלכלות המפותחות בעולם בעתיד הנראה לעין. מימוש היעד האמור מחייב שינויים מבניים והיפוך מגמות אשר המשך כיוונו הנוכחי עלול לשחוק את מעמדה של ישראל בקרב המדינות המפותחות. עניין זה יובהר בפירוט בהמשך הדוח.

השכלה תיכונית

השיעור השנתי¹¹ בישראל של מסיימי תיכון במסגרות לימודים שיעדן תעודת בגרות היה ב-2009 89%. זהו שיעור גבוה במידה ניכרת מהממוצע של ה-OECD (82%) ועלה על זה של רוב מדינות ה-OECD שהציגו נתונים בנושא זה (לרבות קנדה, דנמרק, שוודיה, ארצות הברית ועוד).

בשנת 2009 ניגשו לבחינות בגרות 83,000 מבין 100,000 מסיימי יב באותה שנה: מהם 65,000 בחינוך העברי (82% ממסיימי יב) ו-18,000 בחינוך הערבי (90% ממסיימי יב). מהנבחנים היהודים זכו לתעודת בגרות, ומהנבחנים הערבים – 50%.

11 מחושב כסכום השיעורים של המסיימים (בשנת 2009) מכל שנתון גיל באוכלוסייה, באותו גיל.

בחינוך העברי כ-23% מהנבחנים בחרו להיבחן בשני מקצועות מדעיים מוגברים (4 או יותר יחידות לימוד), ו-98.4% מאלה זכו לתעודת בגרות. בחינוך הערבי כ-22% בחרו בשני מקצועות מדעיים מוגברים, ו-92% מאלה זכו לתעודת בגרות.

בחינוך העברי כ-40% בחרו להיבחן לפחות במקצוע מדעי אחד מוגבר, ומאלה זכו לתעודת בגרות 95%. בחינוך הערבי כ-30% בחרו להיבחן לפחות במקצוע מדעי אחד מוגבר, ומאלה זכו לתעודת בגרות 89%.

במתמטיקה נבחנו בשנת תש"ע 75% מכלל הנבחנים. מהם 16% נבחנו ב-5 יחידות לימוד. שיעור המצטיינים הכללי במתמטיקה היה 39%, ושיעור המצטיינים מבין הנבחנים ב-5 יחידות היה 55.3%. שיעור המצטיינים מכלל הנבחנים במתמטיקה במגזר היהודי היה 41.4% ובמגזר הערבי 30.5%, ואילו בקרב הנבחנים ב-5 יחידות הנתונים הם 55% במגזר היהודי ו-57% במגזר הערבי.

שיעור ההוצאה הלאומית לחינוך היסודי והתיכון מהתמ"ג היה בשנת 2008 4.2%, שביעי בשיעורו ב-OECD. שנתיים קודם לכן, ב-2006, היה שיעור ההוצאה של ישראל 4.4% - השני בגובהו ב-OECD. לעומת ההוצאה הלאומית לחינוך ביחס לתמ"ג, הגבוהה יחסית לרוב מדינות ה-OECD, ההוצאה הממוצעת לתלמיד נמוכה יחסית. תוצאה זו היא תולדה של שני גורמים: (1) התמ"ג הנמוך יחסית של מדינת ישראל; (2) גודלה של שכבת הלומדים יחסית לרוב מדינות ה-OECD. השוואת ההוצאה לתלמיד נערכה במונחים של שוויון כוח קנייה¹². מכאן שבישראל השקעת המשאבים הראליים בחינוך בממוצע לתלמיד פחותה מזו שברוב המדינות החברות ב-OECD.

ההישגים של בני 15 במערכת החינוך בישראל במבחני PISA 2009, המוצגים להלן, הם מן הנמוכים ביותר בקרב חברות ה-OECD:

בתחום המתמטיקה

הציון הממוצע של הנבחנים הישראלים, 447 נקודות, מעמיד את ישראל במקום ה-31 מבין 34 המדינות החברות ב-OECD, ובמקום ה-42 מבין 64 המדינות שהשתתפו במבחנים. להשוואה - במקום הראשון עומדת דרום קוריאה עם 546 נקודות. רק 1.7% מבין הנבחנים הישראלים הגיעו לרמת הציונים העליונה - יותר מ-669 נקודות. נתונים אלה מעמידים את ישראל במקום ה-30 ב-OECD. 6.1% מהישראלים הגיעו לרמת הציונים השנייה בגובהה - בין 607 ל-669 נקודות - ואלה מעמידים את ישראל במקום ה-32 ב-OECD.

בתחום המדעים

הציון הממוצע של הנבחנים הישראלים, 455 נקודות, מעמיד את ישראל במקום ה-31 מבין 34 המדינות החברות ב-OECD, ובמקום ה-42 מבין 64 המדינות שהשתתפו במבחנים. להשוואה - במקום הראשון עומדת פינלנד עם 554 נקודות. רק 0.5% מבין הנבחנים הישראלים הגיעו לרמת הציונים העליונה - יותר מ-708 נקודות. נתונים אלה מעמידים את ישראל במקום ה-25 ב-OECD. 3.5% מהישראלים הגיעו לרמת הציונים השנייה בגובהה - בין 633 ל-708 נקודות - נתונים אלה מעמידים את ישראל במקום ה-30 ב-OECD.

השכלה על-תיכונית וגבוהה

לפי נתוני ה-OECD לשנת 2009, שיעור בעלי תעודה על-תיכונית מוכרת או אקדמית בקרב בני 25-64 בישראל הוא 45%. זהו השיעור השני בגובהו בקרב מדינות ה-OECD (אחרי קנדה). עיון בפירוט השיעורים הללו לפי קבוצות גיל בישראל בהשוואה למדינות האחרות ב-OECD חושף התפתחות מדאיגה:

- בקבוצת הגיל 55-64 ישראל מובילה בשיעור של 45%, ואחריה, בהפרש ניכר, ארצות הברית וקנדה (41%).
 - בקבוצת הגיל 45-54 ישראל חולקת את המקום הראשון, בשיעור של 45%, עם קנדה וארצות הברית.
 - בקבוצת הגיל 35-44 ישראל במקום השלישי, בשיעור של 47% אחרי קנדה (56%) ויפן (49%).
 - בקבוצת הגיל 25-34 ישראל במקום האחד-עשר, בשיעור של 43%, ובמקום הראשון דרום-קוראה (63%!).
- תמונה דומה מתקבלת כאשר בוחנים את שיעורם של בעלי תואר אקדמי באותן קבוצות גיל. בגילאי 25-64 שיעור האקדמאים באוכלוסייה היה 29%, שהוא הרביעי בגובהו ב-OECD, אחרי נורווגיה (34%), ארצות הברית (31%) והולנד (30%). הנתונים לפי קבוצות גיל הם כדלהלן:
- בקבוצת הגיל 55-64 ישראל (29%) שנייה, אחרי ארצות הברית (32%).
 - בקבוצת הגיל 45-54 ישראל (29%) שנייה, אחרי נורווגיה (30%).
 - בקבוצת הגיל 35-44 ישראל (31%) במקום החמישי - אחרי נורווגיה (38%), איסלנד (33%), דרום-קוראה (33%) וארצות הברית (33%).
 - בקבוצת הגיל 25-34 ישראל (30%) במקום החמישה-עשר, ובמקום הראשון נורווגיה (45%!).

השיעור השנתי¹³ של הנרשמים למוסדות ההשכלה הגבוהה (אוניברסיטאות ומכללות אקדמיות) בשנת 2009 היה 60%¹⁴ - שיעור נמוך מזה שברוב המדינות האחרות. זאת על אף השיעור הגבוה יחסית של מסיימי תיכון בישראל. ייתכן כי יש לייחס זאת לתנאי הקבלה ללימודים במוסדות ההשכלה הגבוהה בישראל המחמירים מאלה שבחלק גדול ממדינות ה-OECD האחרות.

השיעור השנתי של בוגרי המערכת האקדמית¹⁵ בישראל ב-2009 (37%) נמוך מזה שברוב מדינות ה-OECD אך קרוב לזה שבקנדה (37%), ארצות הברית (38%) ושוודיה (36%), ועולה על זה של שווייץ (31%) וגרמניה (29%). שיעורי הבוגרים הגבוהים ביותר דווחו על ידי סלובקיה (61%) והונגריה (51%). ככל הנראה קיימת שונות גדולה בין המדינות באשר לרמת הדרישות לקבלת תואר אקדמי, ומיקומה של ישראל בקרב המדינות המפותחות יותר מכובד בהחלט.

השיעור השנתי של מקבלי תואר שני בישראל ב-2009 (14.3%) ממקם את ישראל במקום ה-12 ב-OECD, מעט מעל הממוצע של ה-OECD. בהתפלגות זו המדינות המפותחות יותר מציגות בדרך כלל שיעורים גבוהים יותר של בוגרי תואר שני, אך השיעורים הגבוהים ביותר דווחו על ידי פולין (34%) וסלובקיה (22%).

13 מחושב כסכום השיעורים של הנרשמים (בשנת 2009) מכל שנתון גיל באוכלוסייה באותו גיל.

14 שיעור המתקבלים למוסדות ההשכלה הגבוהה בשנת 2009 גבוה במידה ניכרת משיעור הזכאים לתעודת בגרות ישראלית ב-2009. אמנם מדובר בשתי קבוצות גיל שונות, אך סביר להניח שהתוצאה דלעיל נובעת בעיקר מריבוי המוסדות והמסלולים שבהם אפשר להתקבל ללימודים לקראת תואר אקדמי ללא תעודת בגרות.

15 מקבלי תואר אקדמי בפעם הראשונה מאוניברסיטה או ממכללה אקדמית - על פי רוב תואר ראשון.

השיעור השנתי של מקבלי תואר שלישי בישראל ב-2009 (1.3%) ממקם את ישראל במקום ה-14 ב-OECD, מעט מתחת למוצע ה-OECD.

ניתוח הנתונים דלעיל מראה שבעשורים האחרונים הספיקה תוספת הנטו של בעלי תארים על-תיכוניים ואקדמיים כדי לשמר את שיעורן של קבוצות אלה באוכלוסיית ישראל. הדבר התאפשר במידה רבה הודות לשיעורה הגבוה של אוכלוסייה משכילה בקרב העולים שהגיעו לישראל בתקופה האמורה (במיוחד גל העלייה הגדול האחרון ממדינות חבר העמים). בעתיד הנראה לעין לא נראה סיכוי לגל עלייה דומה, והמקור העיקרי לתחלופה ולגידול של אוכלוסיית האקדמאים יהיה בוגרי מערכת ההשכלה הגבוהה. מדאיג במיוחד הפיגור של ישראל בקצב הגידול של האוכלוסייה המשכילה בכל רמות ההשכלה לעומת המדינות החברות ב-OECD. פיגור זה בא לידי ביטוי בשיעור הנמוך יחסית של משכילים בקרב קבוצת הגיל הצעירה בישראל. שיעור הבוגרים של מערכת ההשכלה הגבוהה צריך לגדול במידה רבה כדי לאפשר תחלופה של אלה שיוצאים ממעגל העבודה (שיעורם באוכלוסייה גדול בשל מבנה הגילים המבוגר של כוח האדם האקדמי), הגדלה של שיעור האקדמאים בכוח העבודה ותיקון מבנה הגילים של אוכלוסיית האקדמאים. לפי שעה ישראל עדיין נהנית מהיצע גבוה יחסית של אוכלוסייה משכילה ומיומנת, אך יתרון זה צפוי להישחק ולהיעלם אלא אם יינקטו בדחיפות צעדים להיפוך המגמות הנוכחיות.

השכלה ותעסוקה¹⁶

מהנתונים המוצגים בלוח 33 אפשר ללמוד על היתרון הבולט שרכישה השכלה מקנה בשוק העבודה:

- שיעור המועסקים בסך האוכלוסייה בגיל 15+ בישראל בשנת 2011 היה 51.1%¹⁷.
- מאלה שהשכלתם מסתכמת בתואר אקדמי ראשון, שיעור המועסקים היה 71.5%.
- מאלה שהשכלתם מסתכמת בתואר שני, שיעור המועסקים היה 69.8%.
- אצל בעלי תואר שלישי, שיעור המועסקים היה 69.4%.

שיעור המועסקים בקבוצות השונות מושפע במידה רבה מהרכב הגילים ומההרכב העדתי השונה של קבוצות ההשכלה השונות. קבוצת האקדמאים מורכבת ברובה מאנשים שסיימו את חוק לימודיהם ואת שירות החובה בצבא; החרדים והערבים, ששיעור השתתפותם בתעסוקה קטן יחסית, משקלם בקבוצה זו נמוך במידה ניכרת ממשקלם באוכלוסייה הכללית.

העובדה ששיעור המועסקים בקרב בעלי התארים המתקדמים אינו עולה על זה של בעלי התואר הראשון נובעת ככל הנראה מכך שאוכלוסיית בעלי התארים המתקדמים מבוגרת יותר, ובה שיעור גדול יותר של אנשים שפרשו לגימלאות. בסקר מיוחד שנעשה על קריירות של בעלי תואר שלישי¹⁸ נמצא ששיעור המועסקים בקרב בעלי תואר שלישי עד גיל 70 מגיע ל-87.8%. אף על פי שבסקר אין נתונים על בעלי התואר השלישי בני 70 ומעלה, סביר להניח שהכללתם בנתונים של השנתון הסטטיסטי היא הסיבה העיקרית להיותו של שיעור המועסקים לפי השנתון הסטטיסטי נמוך מזה שנמצא בסקר.

16 הנתונים בסעיף זה חושבו על בסיס נתוני הל"ס – השנתון הסטטיסטי לישראל 2012.
17 למועסקים נחשבים אלה שבשבוע שבו נקדו היו מועסקים לפחות שעה אחת, למעט אנשי צבא.
18 ראו ממצאים מהסקר בהמשך הפרק הנוכחי בעמ' 56.

לוח ב3: בני 15 ומעלה לפי מצב התעסוקה, לפי התעודה הגבוהה ביותר שקיבלו ולפי מין, 2011¹⁹

אחוז מועסקים באוכלוסייה	אלפים		
	מועסקים	סך הכול	
50.7	2,834	5,585	כל האוכלוסייה
56.3	1,534	2,726	- גברים
45.5	1,300	2,859	- נשים
71.5	574	803	תואר אקדמי ראשון סך הכול
76.7	267	348	- גברים
67.5	307	455	- נשים
69.8	313	448	תואר אקדמי שני סך הכול
74.3	153	206	- גברים
66.1	160	242	- נשים
69.4	34	49	תואר אקדמי שלישי סך הכול
68.8	22	32	- גברים
70.6	12	17	- נשים

סגל אקדמי באוניברסיטאות

מספרם של חברי הסגל האקדמי הבכיר באוניברסיטאות, במונחים של משרות שלמות, קטן בין תש"ס לתש"ע ב-7.6%, ומספר המשרות של חברי הסגל האקדמי הזוטר קטן במשך אותה תקופה ב-15%. באותו פרק זמן גדל מספר הסטודנטים הכללי באוניברסיטאות ב-9.6%, מספר הסטודנטים לתואר שני גדל ב-21.3%, ומספר תלמידי התואר השלישי גדל ב-59.2%.

השינויים שהתרחשו בשנים האחרונות במספרי הסטודנטים באוניברסיטאות מצד אחד ובמספרם של חברי הסגל הבכיר מהצד האחר הביאו לעלייה ניכרת במספר הסטודנטים לאיש סגל אקדמי בכיר. יחס זה עלה מכ-19 סטודנטים לאיש סגל בראשית שנות התשעים ל-26 סטודנטים בתשס"ה, ובשנים שלאחר מכן התייצב היחס בכ-26 סטודנטים לאיש סגל בכיר. יש לציין כי הממוצע ב-OECD הוא 16 סטודנטים לאיש סגל בכיר.

התכנית הרב-שנתית של ות"ת למערכת ההשכלה הגבוהה לשנים תשע"א-תשע"ו הציבה יעד לשיפור יחס זה באוניברסיטאות עד ליחס של כ-21 סטודנטים לאיש סגל אקדמי בכיר בממוצע.

העלייה התלולה ביחס שביין מספר הסטודנטים למספר חברי הסגל האקדמי חלה בכל תחומי הלימודים באוניברסיטאות. בכמה מתחומי מדעי הטבע, שבהם נדרשת במידה רבה למידה בקבוצות קטנות, היחס האמור נמוך יותר, והפער בין ישראל לבין המדינות המפותחות האחרות קטן יותר: במדעים הפיזיקליים - 10 תלמידים למורה, בחקלאות - 19, ובמתמטיקה ומדעי המחשב - 20. לשם השוואה, בבריטניה היחס האמור בפיזיקה הוא 11, בכימיה - 16, בחקלאות - 16, ובמתמטיקה ומדעי המחשב - 17.

19 המקור: הלמ"ס - השנתון הסטטיסטי לישראל 2012.

לוח ב4: יחס סטודנטים לסגל אקדמי בכיר באוניברסיטאות²⁰

תשע"א	תש"ע	תשס"ט	תשס"ח	תשס"ז	תשס"ה	תשנ"ב	
26.4	26.6	26.0	25.8	25.8	26.4	19.4	סך הכול
20.7	20.5	19.1	19.4	19.9	21.2	16.1	מדעי הרוח
39.3	39.5	40.3	39.7	38.9	39.8	33.4	מדעי החברה ומנע"ס
49.8	49.5	49.5	53.6	54.0	49.3	37.1	משפטים
20.0	20.9	20.1	19.7	20.2	21.3	17.9	מתמטיקה, סטטיסטיקה ומדעי המחשב
10.0	10.5	10.3	11.1	11.0	11.4	7.6	המדעים הפיזיקליים
20.5	21.2	21.1	21.2	22.6	23.5	11.3	המדעים הביולוגיים
18.6	17.7	18.9	18.5	18.6	17.2	12.5	חקלאות
31.3	31.4	31.0	29.7	29.2	29.0	22.3	הנדסה ואדריכלות

הגיל הממוצע של הסגל האקדמי הבכיר באוניברסיטאות עולה בהתמדה. בשנת תשס"ט כ-60% מחברי הסגל הבכיר (פרופסורים ומרצים) היו בגיל 50 ומעלה. בתחום מדעי הרוח כ-70% היו בני יותר מ-50, ובתחום מדעי הרפואה – 65%. במידה רבה זוהי תוצאה של הצמצום המתמשך בקליטת סגל צעיר.

חלק נכבד מן המחקר הבסיסי באוניברסיטאות מבוצע על ידי תלמידים לתואר שלישי (דוקטורנטים) בהנחיית מדריכים מהסגל האקדמי הבכיר. בשנת תש"ן למדו באוניברסיטאות כ-3,900 דוקטורנטים, ומספרם עלה עד לכ-10,200 בשנת תשס"ח – גידול של כ-160%. באותה תקופה גדל מספר אנשי הסגל האקדמי הבכיר בכ-5%, וההוצאה למחקר אקדמי, במחירים רגילים, לא גדלה כלל. המסקנה מהנתונים דלעיל היא שהתקציב הממוצע הזמין למימון המחקר של הדוקטורנט הצטמצם מאוד, ובה במידה הצטמצם הזמן הממוצע שחבר סגל בכיר יכול להקדיש לכל אחד מהדוקטורנטים שבהנחייתו.

²⁰ הערות ללוח:

1. נתוני הסגל האקדמי לשנים תשס"ט-תשע"א עדיין בבירור עם אחד המוסדות בשל בעיה שהתגלתה בנתונים שנשלחו לות"ת.
2. נתוני הסטודנטים כוללים סטודנטים לתואר ראשון ושני בקמפוסים הראשיים של האוניברסיטאות, ללא מכון ויצמן למדע.
3. המקור: נתוני הלמ"ס ומנהל ות"ת.

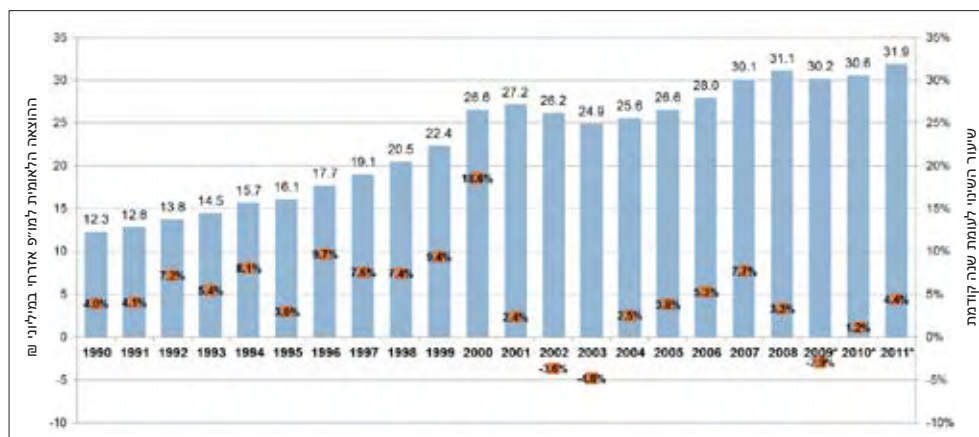
מחקר ופיתוח

על פי אומדנים ראשונים של הלמ"ס, ההוצאה הלאומית למו"פ אזרחי, במחירים שוטפים, הסתכמה בשנת 2011 ב־38.2 מיליארד ש"ח, וחלקה בתוצר המקומי הגולמי היה 4.4%.

בשנת 2011 עלתה ההוצאה הלאומית למו"פ אזרחי, במחירים קבועים, ב־4.4%, לאחר עלייה של 1.2% בשנת 2010 וירידה של 2.9% בשנת 2009.

האיור הבא מציג את ההוצאה הלאומית למו"פ אזרחי בישראל בשנים 1990–2011 במחירי 2005 וכן את השינוי בכל שנה לעומת השנה שקדמה לה.

איור ב3: ההוצאה הלאומית למו"פ אזרחי בישראל בשנים 1990–2011 (מיליארד ש"ח במחירי 2005) ושיעורי השינוי השנתיים (באחוזים)²¹

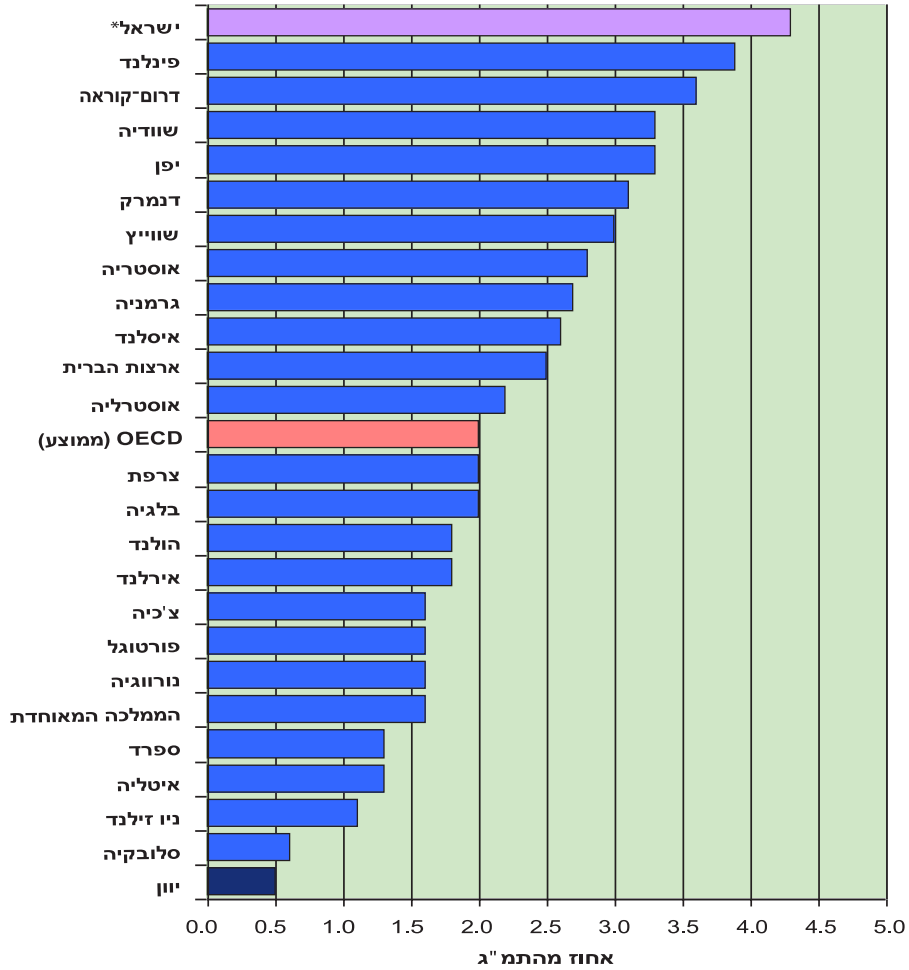


21 המקור: עיבוד מוסד נאמן לנתוני הלמ"ס.

עצימות המו"פ (R&D Intensity)

עצימות המו"פ היא מדד של שיעור ההוצאה הלאומית למו"פ מהתמ"ג. מדד זה מאפשר להשוות את ישראל למדינות אחרות השונות ממנה בגודלן הפיזי והכלכלי. אשר לישראל הנתונים המוצגים אינם כוללים את ההוצאה הלאומית למו"פ ביטחוני, ובכל זאת לאורך כל התקופה מובילה ישראל במדד זה. בישראל הגיע מדד זה לשיא של 4.8% בשנת 2007, ומאז נמצא בירידה בשל הגידול הראלי המהיר יותר של התמ"ג לעומת ההוצאה הלאומית על מו"פ אזרחי בשנים אלה.

איור 4: הוצאה לאומית למו"פ אזרחי כאחוז מהתמ"ג בישראל ובארצות ה-OECD²² 2010



* נתונים ארעיים

22 המקור: עיבוד מוסד נאמן של נתוני הלמ"ט.

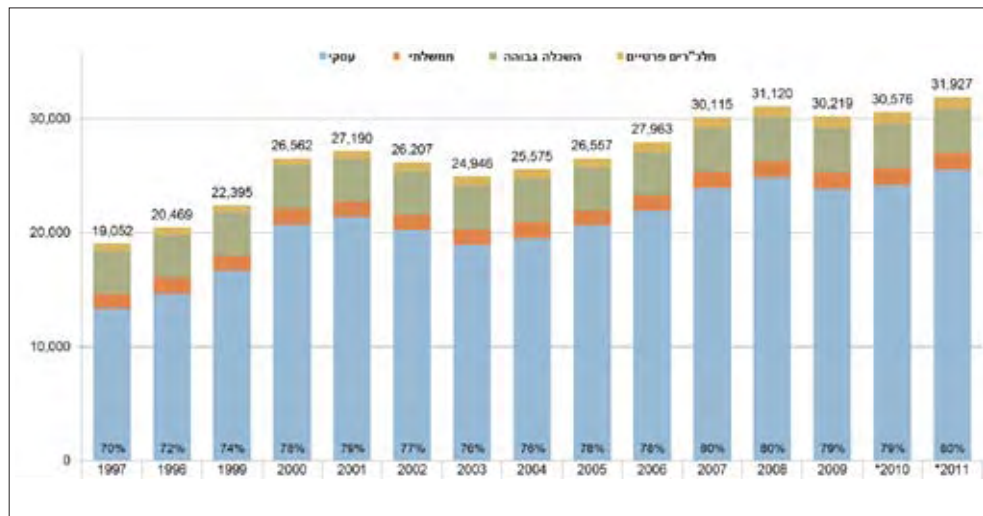
מגזרי הביצוע של המו"פ

באיור הבא מוצג ביצוע ההוצאה הלאומית למו"פ בישראל לפי מגזר מבצע בשנים 1997–2011. בתקופה זו גדל חלקו של המגזר העסקי בביצוע ההוצאה הלאומית למו"פ במידה ניכרת – מ-13,330 מיליוני ש"ח (במחירי 2005), שהם 70% מסך ההוצאה הלאומית למו"פ בשנת 1997, ל-25,505 מיליוני ש"ח, שהם 80% ממנה בשנת 2011. זהו קצב גידול מצטבר ממוצע של 4.7% לשנה.²³

במגזר הממשלתי קצב הגידול המצטבר הממוצע של ההוצאה למו"פ לאותה תקופה הוא 0.9%. חלקה של הממשלה בהוצאה למו"פ קטן מ-10% בשנת 1990 ל-7% בשנת 1997 ול-5% בשנת 2011.

ההוצאה למו"פ של מגזר ההשכלה הגבוהה נשארה כמעט ללא שינוי לאורך השנים, וחלקה בהוצאה למו"פ, בתקופה הנדונה, קטן מ-20% בשנת 1997 ל-12% בשנת 2011.

איור ב5: ההוצאה הלאומית למו"פ אזרחי בישראל לפי מגזר מבצע, 1997–2011 (מיליוני ש"ח במחירי 2005)



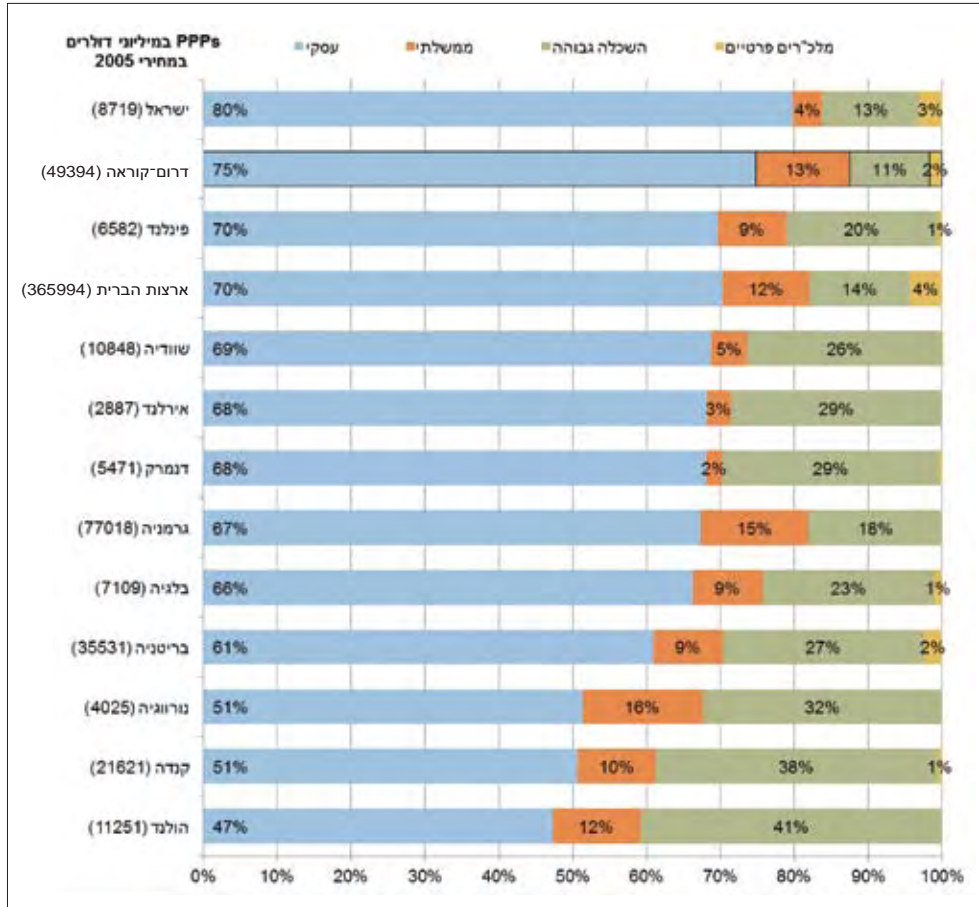
מקורות: עיבוד מוסד נאמן לנתוני המ"ס.

ישראל בולטת בשנים האחרונות בשיעור ההוצאה הלאומית למו"פ בביצוע המגזר העסקי (80%) לעומת רוב המדינות המפותחות האחרות, ששיעור זה אצלן הוא 50%–70%. שיעור ההוצאה הלאומית למו"פ במגזר ההשכלה הגבוהה בישראל היה בשנת 2010 13%, ואילו ברוב המדינות האחרות הוא היה יותר מ-20%.

Compound Average Growth Rate – CAGR 23 $CAGR(t_0, t_n) = \left(\frac{V(t_n)}{V(t_0)} \right)^{\frac{1}{n-t_0}} - 1$ קצב גידול מצטבר ממוצע

איור 6: התפלגות שיעורי ההוצאה הלאומית למו"פ אזרחי לפי מגזר מבצע, בהשוואה בין-לאומית, 2010

(המספרים בסוגריים מציגים את הערכים של ההוצאה הלאומית למו"פ ב-PPP מיליוני דולרים במחירים קבועים 2005).



מקורות: עבוד מוסד נאמן לנתוני המ"ס ר-OECD.

מימון מו"פ

האיור הבא מציג את התפלגות ההוצאה הלאומית למו"פ לפי מגזר מממן בהשוואה בין-לאומית. ישראל חריגה בשיעור המימון על ידי מגזר חו"ל (42%), וזהו השיעור הגבוה ביותר בהשוואה ליתר המדינות המוצגות כאן. השיעור הגבוה אחרי ישראל הוא באוסטרליה ובבריטניה (17%).

לעומת זאת בשיעור המימון של המגזר הממשלתי ישראל נמוכה מאוד (15%) בהשוואה למדינות האחרות ב-OECD שבהן הממוצע הוא כ-35%.

איור ב7: התפלגות שיעורי ההוצאה הלאומית למו"פ אזרחי לפי מגזר מממן, בהשוואה בין-לאומית, 2010²⁴



המחקר הבסיסי

כמעט כל המחקר הבסיסי בישראל מתבצע באוניברסיטאות. חוקרים מהאוניברסיטאות בישראל זוכים להערכה רבה ומנהלים קשרי מחקר ענפים עם מוסדות המחקר המובילים בעולם. בשנים האחרונות הוענקו למדענים מהאוניברסיטאות בישראל פרסי נובל, ולאחרונה הטכניון, בשיתוף עם אוניברסיטת קורנל שבארצות הברית, זכה במרכז שהתחרו בו אוניברסיטאות מחקר מהליגה הראשונה בארצות הברית להקמת מכון למחקר ולהוראת מוסמכים במדע שימושי בניו יורק.

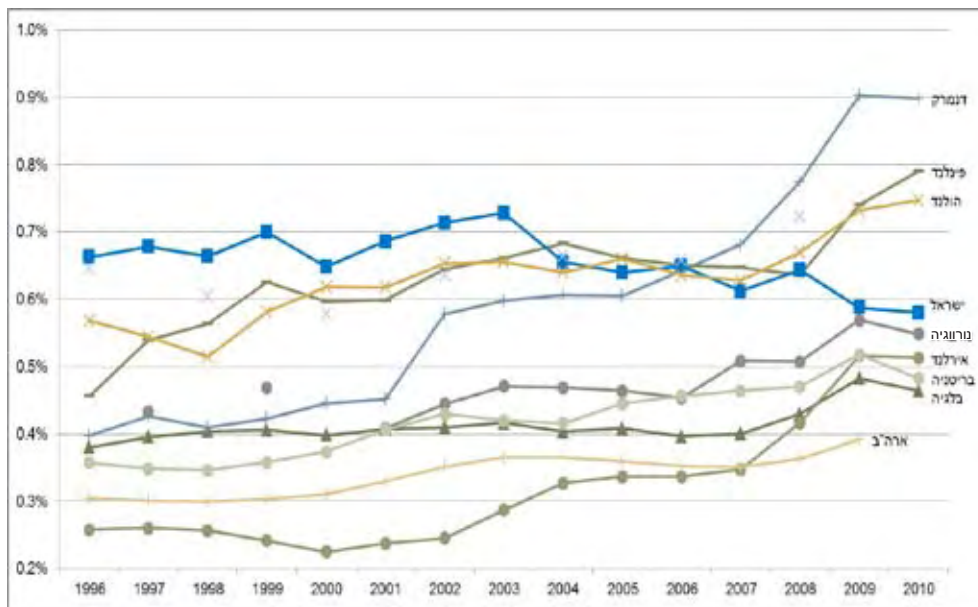
חשוב לציין כי ההישגים שצוינו לעיל נשענים במידה רבה על תשתית שטופחה לפני עשרות שנים. בשנות השבעים של המאה העשרים היו ההוצאות על מו"פ אוניברסיטאי כ-60% מההוצאה הלאומית למו"פ אזרחי, השיעור הגבוה ביותר בקרב המדינות המערביות המפותחות באותה תקופה שהיו חברות ב-OECD. ב-2010 ירד שיעור זה ל-13%, והוא מן השיעורים הנמוכים במדינות

1. המדינות מסודרות לפי שיעור ההשקעה במו"פ על ידי מגזר חו"ל.
2. המקור: עיבוד מוסד נאמן לנתוני הלמ"ס ו-OECD.

ה־OECD. השיעור הנמוך של המו"פ האוניברסיטאי כיום נובע בחלקו מהגידול יוצא הדופן שחל בהיקף המו"פ העסקי ובחלקו משיעור הצמיחה הכמעט אפסי של המו"פ האוניברסיטאי במשך תקופה ארוכה. בזמן שההוצאה על מו"פ אוניברסיטאי בישראל קפאה על שמריה, חל גידול ניכר בהיקף ההוצאה למו"פ אוניברסיטאי ברוב המדינות המפותחות. מאחר שרוב הפרסומים המדעיים של ישראל מקורם באוניברסיטאות, ייתכן שהתפתחות זו גרמה לירידה העקיבה במעמדה של ישראל במדד מספר הפרסומים המדעיים לנפש,²⁵ מהמקום הראשון בעולם בשנות השמונים של המאה הקודמת ועד למקום ה־13 בשנת 2010.

האיור הבא ממחיש את מגמת הירידה בשיעור ההוצאה למו"פ במגזר ההשכלה הגבוהה, שרובה ככולה מתבצעת באוניברסיטאות, הן ביחס לתמ"ג בישראל והן ביחס למדינות ה־OECD.

איור 8: ההוצאה למו"פ בביצוע מגזר ההשכלה הגבוהה כאחוז מהתמ"ג, 1996–2010²⁶



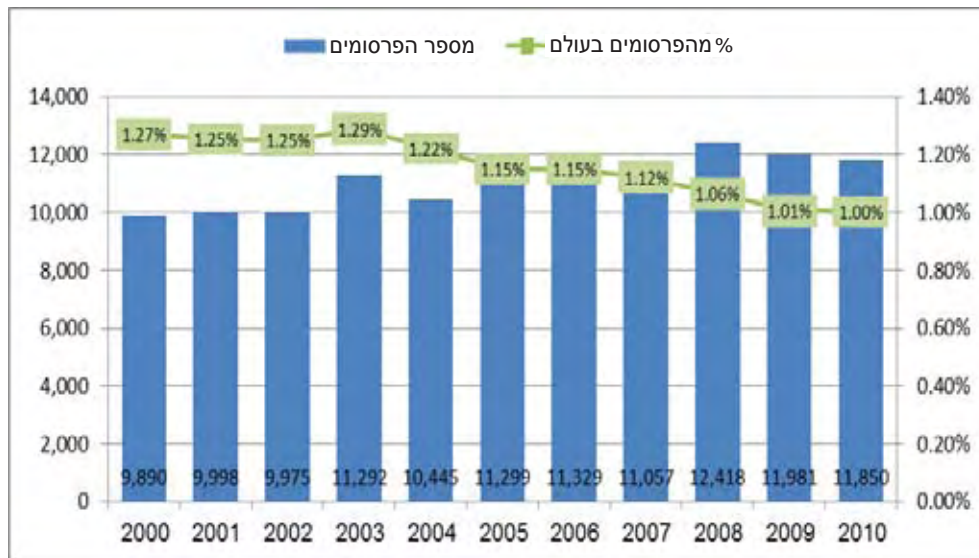
25 ראו להלן סעיף תפוקות מחקר.

26 המקור: עיבוד מוסד שמואל נאמן של נתוני ה־OECD והלמ"ס.

תפוקות מחקר - פרסומים מדעיים

ישראל נמנית עם קבוצת המדינות המצטיינות בתפוקת הפרסומים המדעיים שלהן. בשנת 2009 הפיקה ישראל 1% מסך המאמרים המדעיים בעולם, בעוד אוכלוסייתה היא כפרומיל אחד מאוכלוסיית העולם. עם זאת הנתונים שבאיור הבא מצביעים על ירידה מתמשכת בחלקה של ישראל בפרסומים המדעיים. אחת הסיבות לכך היא כניסתם של שחקנים גדולים נוספים לתחום הפרסומים המדעיים (כגון סין והודו), אך קיימות גם סיבות אחרות, שיוצגו בהמשך.

איור ב9: פרסומים מדעיים של ישראל כאחוז מפרסומי העולם, 2000-2010²⁷



27 המקור: עיבוד של מוסד נאמן של נתוני Thomson Reuters.

בשנות השמונים של המאה הקודמת דורגה ישראל במקום הראשון בעולם במדד של מספר הפרסומים לנפש. עם הזמן חלה ירידה הדרגתית של ישראל במדרג זה. הנתונים האחרונים המוצגים בלוח הבא מעידים שהירידה עודנה נמשכת, ובשנת 2010 ישראל מדורגת במקום ה-13. יש לציין שמספר הפרסומים הישראליים לנפש לא פחת בתקופה האמורה, אך שיעור הגידול של ישראל היה נמוך מזה של כל יתר מדינות ה-OECD המוצגות בלוח.

לוח ב5: דירוג מדינות לפי מספר הפרסומים לנפש, 2006-2010 ו-2010²⁸

שנת פרסום: 2010			שנות פרסום: 2010-2006		
פרסומים ל-100,000 נפש	דירוג	מדינה	פרסומים ל-100,000 נפש ממוצע שנתי	דירוג	מדינה
284.2	1	שווייץ	260.0	1	שווייץ
213.5	2	דנמרק	200.5	2	שוודיה
213.0	3	שוודיה	191.4	3	דנמרק
191.6	4	נורווגיה	177.4	4	פינלנד
186.3	5	הולנד	172.4	5	נורווגיה
185.2	6	פינלנד	168.2	6	הולנד
177.1	7	אוסטרליה	156.7	7	אוסטרליה
174.7	8	סינגפור	153.8	8	ישראל
167.6	9	ניו זילנד	152.7	9	סינגפור
162.2	10	סלובניה	151.6	10	קנדה
160.5	11	קנדה	149.3	11	ניו זילנד
156.4	12	בלגיה	143.0	12	בלגיה
155.4	13	ישראל	142.5	13	בריטניה
149.6	14	בריטניה	141.2	14	סלובניה
148.4	15	אירלנד	127.0	15	הונג קונג
139.3	16	הונג קונג	126.0	16	אירלנד
136.2	17	אוסטריה	124.9	17	אוסטריה
109.6	18	ארצות הברית	106.3	18	ארצות הברית
108.1	19	גרמניה	102.9	19	גרמניה
103.3	20	טייוואן	96.6	20	צרפת
101.0	21	צרפת	93.4	21	טייוואן
97.0	22	ספרד	91.9	22	יוון
95.0	23	יוון	86.7	23	ספרד
85.1	24	איטליה	79.5	24	איטליה

28 המקור: עיבוד של מוסד נאמן של נתוני Thomson Reuters.

תחומים ראשיים

הירידה בדירוג ישראל לפי מספר הפרסומים לנפש חלה בכל התחומים, למעט תחום המתמטיקה, שבו היא מדורגת במקום הראשון. למרות הירידה האמורה ישראל עדיין בחמישייה המובילה בתחומי מדעי המחשב, הפיזיקה, הפסיכולוגיה והפסיכיאטריה, מדעי המוח, הביולוגיה והביוכימיה.

לוח ב6: דירוגי ישראל במדרג המדינות על פי מספר הפרסומים לנפש, לפי תחומים

2008–2004	2003–1999	1998–1994	1988–1984	
1	1	1	1	מתמטיקה
3	1	1	1	פסיכולוגיה ופסיכיאטריה
2	2	1	1	מדעי המחשב
4	4	3	2	מדעי המוח
4	3	2	2	ביולוגיה מולקולרית וגנטיקה
10	7	6	6	מדעי החלל
3	2	2	2	פיזיקה
6	5	5	3	אימונולוגיה
6	4	3	1	מדעי החברה (כללי)
6	5	5	2	רפואה קלינית
12	3	1	1	כלכלה ועסקים
5	4	4	2	ביולוגיה וביוכימיה
10	10	9	1	מיקרוביולוגיה
7	3	2	1	הנדסה
12	9	6	3	מדעי החי והצומח
12	11	10	4	מדעי הסביבה
16	15	12	5	מדעי כדור הארץ
7	3	3	2	כימיה
15	10	11	9	פרמקולוגיה וטוקסיקולוגיה
17	8	5	3	מדע החומרים
18	13	10	3	מדעי החקלאות
5	3	3	1	כל התחומים

ב-12 השנים שבין התקופות 1998–1994 ו-2006–2010 ירד שיעור הפרסומים של ישראל מבין כלל הפרסומים המדעיים ב-12%. הירידה ניכרה בעיקר במדעי החי והצומח (ב-34%), במדע החומרים (ב-30%), במתמטיקה (ב-29%), בכלכלה ועסקים (ב-28%), בהנדסה (ב-26%), במדעי הסביבה (ב-21%) ובכימיה (ב-17%). לעומת זאת עלה שיעור הפרסומים במדעי החלל (ב-24%) ובתחום מדעי המוח (ב-16%).

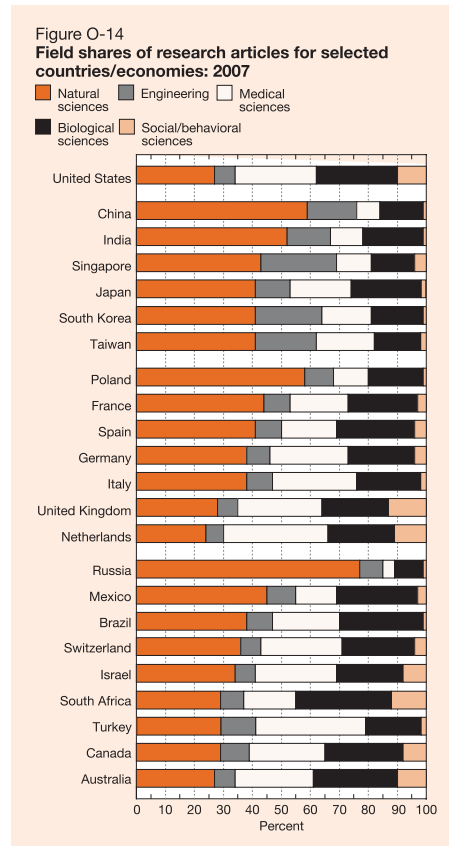
חלקה של ישראל בסך הפרסומים בעולם בולט במיוחד בתחומי המתמטיקה (1.8% מסך הפרסומים בתחום), הפסיכולוגיה והפסיכיאטרייה (1.75%) ומדעי המחשב (1.73%).

לוח ב7: אחוז הפרסומים הישראליים מכלל הפרסומים בעולם לפי תחומים

אחוז הפרסומים הישראליים בשטח			מספר הפרסומים בעולם	מספר הפרסומים הישראליים	תחום
1998–1994	2008–2004	2010–2006			
2.55	2	1.80	151551	2723	מתמטיקה
1.67	1.78	1.75	136246	2381	פסיכולוגיה ופסיכיאטרייה
1.93	1.67	1.73	128600	2224	מדעי המחשב
1.27	1.46	1.47	157138	2310	מדעי המוח
1.33	1.43	1.4	150909	2119	ביולוגיה מולקולרית וגנטיקה
1.13	1.34	1.4	63035	882	מדעי החלל
1.33	1.43	1.36	497330	6744	פיזיקה
1.33	1.39	1.34	64054	859	אימונולוגיה
-	1.32	1.25	257341	3209	מדעי החברה (כללי)
1.29	1.29	1.19	1138543	13554	רפואה קלינית
1.57	1.22	1.13	91591	1033	כלכלה ועסקים
1.15	1.19	1.1	287663	3,169	ביולוגיה וביוכימיה
0.89	0.98	0.93	91155	849	מיקרוביולוגיה
1.13	0.94	0.84	463246	3872	הנדסה
1.17	0.85	0.77	297755	2292	מדעי החי והצומח
0.94	0.83	0.74	154001	1147	מדעי הסביבה
0.68	0.73	0.68	154094	1050	מדעי כדור הארץ
0.8	0.72	0.67	631652	4252	כימיה
0.66	0.64	0.64	105338	678	פרמקולוגיה וטוקסיקולוגיה
0.74	0.54	0.52	253905	1320	מדע החומרים
-	0.55	0.47	121160	567	מדעי החקלאות
1.21	1.13	1.06	5396307	57234	כל התחומים

כפי שאפשר להתרשם מהאיור הבא, מדינות המערב, ובהן ישראל, נוטות להתמקד במדעי החיים והרפואה לעומת לעבר מדינות הגוש המזרחי ודרום-מזרח אסיה, הנוטות להתמקד במדעים המדויקים ובהנדסה.

איור 10: התפלגות הפרסומים הישראליים לפי תחומים - השוואה בין-לאומית²⁹



איכות הפרסומים

הערכת איכותם של מאמרים נעשית בדרך כלל על ידי עמיתים (Peer Review). לצורך השוואה של איכות תפוקתם של הפרסומים של מדינות או מוסדות מחקר מקובל להשתמש במדד הקשור בעקיפין לאיכות הפרסומים והוא מספר הציטוטים הממוצע לפרסום במשך תקופה מוגדרת לאחר מועד הפרסום. לפי מדד זה, המוצג בלוח הבא, חלה ירידה מסוימת בדירוג של ישראל בקרב המדינות המפותחות. מדינות כמו פינלנד, נורווגיה, גרמניה ואוסטריה, שפיגרו אחרי ישראל בשנות השמונים, נמצאות לפני בתחילת שנות האלפיים. אמנם מספר הציטוטים הממוצע למאמר ישראלי גדל מ-2.85 בשנים 1984–1988 ל-5.57 בשנים 2004–2008, אך גידול בסדר גודל כזה חל בקרב כל המדינות והוא נובע מהגידול במספר המאמרים הכללי.

²⁹ Science and Engineering Indicators 2010 - overview, U.S. National Science Board

לוח ב8: דירוג המדינות המובילות במוצע הציטוטים לפרסום, בכל התחומים, בשנים 1984–1988, 1994–1998 ו־2004–2008

2008–2004			1994–1988			1988–1984		
ממוצע ציטוטים	מדינה	דירוג	ממוצע ציטוטים	מדינה	דירוג	ממוצע ציטוטים	מדינה	דירוג
7.64	שווייץ	1	5.98	שווייץ	1	4.56	שווייץ	1
7.11	דנמרק	2	5.22	ארצות הברית	2	3.95	ארצות הברית	2
6.98	הולנד	3	4.72	הולנד	3	3.73	שוודיה	3
6.84	ארצות הברית	4	4.66	דנמרק	4	3.54	הולנד	4
6.49	שוודיה	5	4.63	שוודיה	5	3.49	דנמרק	5
6.38	בריטניה	6	4.4	בריטניה	6	3.42	בריטניה	6
6.21	בלגיה	7	4.3	פינלנד	7	3.08	בלגיה	7
6.05	אוסטריה	8	4.29	בלגיה	8	2.86	אוסטרליה	8
6.05	גרמניה	9	4.2	קנדה	9	2.86	קנדה	9
5.84	פינלנד	10	3.96	גרמניה	10	2.85	ישראל	10
5.77	קנדה	11	3.81	צרפת	11	2.77	פינלנד	11
5.71	נורווגיה	12	3.76	ישראל	12	2.73	נורווגיה	12
5.57	ישראל	13	3.64	אוסטריה	13	2.71	צרפת	13
5.49	צרפת	14	3.64	איטליה	14	2.66	גרמניה	14
5.42	איטליה	15	3.54	נורווגיה	15	2.57	יפן	15
5.31	אוסטרליה	16	3.47	אוסטרליה	16	2.37	איטליה	16
4.83	ספרד	17	3.16	יפן	17	2.2	אוסטריה	17
4.67	ניו זילנד	18	3.03	ניו זילנד	18	1.62	דרום אפריקה	18
4.6	יפן	19	2.98	ספרד	19	1.61	ספרד	19
4.53	הונגריה	20	2.22	יוון	20	1.56	הונגריה	20

מקור: Global Comparison Thomson Reuter. עיבוד הנתונים: מוסד נאמן.

בלוח הבא מוצגת השוואה של איכות הפרסומים בתחומים המדעיים השונים בין ישראל לקבוצת מדינות מובילות, על פי היחס שבין מספר הציטוטים למאמר בכל תחום בכל מדינה, לעומת היחס הממוצע לכל המאמרים המתפרסמים באותו תחום. ישראל מדורגת ברוב התחומים במקום החמישי בלוח, ורק בארבעה תחומים היא מגיעה למקום השלישי. שווייץ עולה על ישראל בכל התחומים, וארצות הברית עולה על ישראל בכל התחומים פרט לשניים (מדעי החלל ומדעי החי והצומח).

לוח ב: 9: היחס שבין מספר הציטוטים הממוצע למאמר בתחומי המדע והטכנולוגיה בישראל לעומת ממוצע הציטוטים לתחום בהשוואה בין-לאומית, 2006–2010³⁰

מדע החומרים	ישראל	פינלנד	דנמרק	שווייץ	סינגפור	ארצות הברית	דירוג ישראל בין המדינות שבלוח
מדע החומרים	1.62	0.99	1.84	1.84	1.77	1.73	5
מדעי החלל	1.56	1.05	1.59	1.72	0.69	1.37	3
מדעי החי והצומח	1.48	1.30	1.50	1.59	1.17	1.32	3
פיזיקה	1.46	1.66	1.53	1.89	0.98	1.55	5
מדעי כדור הארץ	1.29	1.49	1.59	1.72	0.74	1.46	5
ביולוגיה מולקולרית וגנטיקה	1.26	1.35	1.52	1.54	1.17	1.33	5
כימיה	1.25	1.01	1.41	1.53	1.29	1.58	5
ביולוגיה וביוכימיה	1.21	1.07	1.30	1.58	1.08	1.42	4
פרמקולוגיה וטוקסיקולוגיה	1.19	1.29	1.18	1.40	1.37	1.34	5
מדעי החקלאות	1.14	1.58	1.55	1.33	1.72	1.34	6
מיקרוביולוגיה	1.11	0.91	1.44	1.42	1.19	1.46	5
מדעי המוח	1.11	1.18	1.16	1.25	1.11	1.32	5-6
רפואה קלינית	1.10	1.43	1.60	1.52	1.04	1.41	5
הנדסה	1.09	1.21	1.52	1.46	1.29	1.20	6
כלכלה ועסקים	1.06	0.79	1.03	1.22	1.04	1.36	3
מדעי המחשב	1.03	1.18	1.30	2.56	1.02	1.37	5
מתמטיקה	1.01	1.32	1.33	1.46	1.21	1.30	6
מדעי הסביבה	1.00	1.44	1.51	1.70	1.29	1.31	6
אימונולוגיה	1.00	0.91	0.98	1.29	0.96	1.31	3
פסיכולוגיה / פסיכיאטריה	0.95	1.09	1.12	1.16	0.69	1.19	5
מדעי החברה (כללי)	0.92	0.98	1.12	1.34	0.72	1.21	5

30 המקור: Thomson Scientific, National Science Indicators. עיבוד הנתונים: מוסד נאמן.



פרסומים משותפים למדענים ישראלים ולמדענים מחו"ל

היקף שיתוף הפעולה במחקר בין חוקרים ישראלים לעמיתיהם בחו"ל³¹ בא לידי ביטוי במספר הפרסומים המדעיים שעם מחברייהם נמנים חוקרים ישראלים וחוקרים מחו"ל. חלקה של ישראל בסך הפרסומים המשותפים בעולם היה 3% ב-1999 וירד ל-2.3% ב-2009. אלה הם שיעורים גבוהים ביותר בהתחשב בחלקה של ישראל באוכלוסיית העולם. בשתי השנים האמורות היה חלקה של ישראל בפרסומים המשותפים גדול פי שלושה מחלקה של ישראל בסך כל הפרסומים.

לוח ב10: אחוז המאמרים המשותפים של כל מדינה מסך המאמרים המשותפים בעולם

Country/economy	2000	2010	Country/economy	2000	2010
United States	43.8	42.9	Czech Republic	1.5	1.8
Germany	20.0	18.8	Greece	1.4	1.6
United Kingdom	19.0	18.7	Mexico	1.7	1.6
France	15.3	13.8	New Zealand	1.3	1.5
China	5.0	13.0	Ireland	0.9	1.4
Canada	9.3	10.1	South Africa	1.0	1.4
Italy	9.3	9.4	Argentina	1.3	1.3
Japan	10.4	8.2	Turkey	0.8	1.2
Spain	6.1	8.1	Hungary	1.7	1.2
Australia	5.3	7.1	Chile	0.8	1.1
Netherlands	6.7	6.9	Iran	0.2	1.0
Switzerland	5.8	6.1			
Sweden	5.4	4.8			
South Korea	2.3	4.4			
Belgium	4.0	4.3			
Russia	6.9	3.7			
India	2.1	3.3			
Brazil	2.8	3.0			
Austria	2.6	2.9			
Denmark	3.1	2.9			
Poland	3.2	2.6			
Israel	3.0	2.3			
Finland	2.6	2.2			
Taiwan	1.4	2.2			
Norway	1.7	2.1			
Portugal	1.2	1.9			
Singapore	0.8	1.6			

NOTES: Internationally coauthored articles have at least one collaborating institution from indicated country/economy and an institution from outside that country/economy. Article counts from set of journals covered by Science Citation Index (SCI) and Social Sciences Citation Index (SSCI). Articles classified by year they entered database, rather than year of publication, and assigned to country/economy on basis of institutional address(es) listed on article. Articles on whole-count basis, i.e., each collaborating country/economy credited one count. Countries/economies with less than 1% of world's 2010 international articles omitted.

SOURCES: National Science Foundation, National Center for Science and Engineering Statistics, and The Patent Board™, special tabulations (2011) from Thomson Reuters, SCI and SSCI, http://thomsonreuters.com/products_services/science/. See appendix table 5-41.

Science and Engineering Indicators 2012

תפוקות מחקר - ידע יישומי

ועדה של האקדמיה הלאומית למדעים שפעלה בתחילת העשור הקודם ושבחנה את הנושא של קשרי האוניברסיטאות עם התעשייה, הגיעה בין היתר למסקנות האלה:

"על האוניברסיטאות בישראל לאמץ את העיקרון שמחקר יישומי והעברה יזומה של תוצאות המחקר הזה לתעשייה היא משימה אוניברסיטאית חשובה לצד הוראה ומחקר".

"הוועדה ממליצה שהאוניברסיטאות תעודדנה את החוקרים להשתתף בניצול תוצאות המחקר שלהם שיש בהן פוטנציאל מסחרי. עליהן לעזור לחוקרים בזיהוי מחקרים בעלי פוטנציאל מסחרי ולסייע להם בכל הקשור במעורבותם בתהליך העברת הידע".

ממצאי סקרים שנערכו באחרונה על ידי הלמ"ס ומוסד שמואל נאמן מצביעים על הישגים בהעברת ידע מהאוניברסיטאות לתעשייה, שנוסף על תרומתם החשובה לכלכלת המדינה הניבו הכנסות נכבדות ממכירת ידע ומתמלוגים למוסדות שהעבירו את הידע.

31 ראו להלן בפרק ה"שיתופי הפעולה המדעיים של מדינת ישראל".

סך ההכנסות ממכירת קניין רוחני ומתמלוגים בארץ ובחו"ל הסתכמו בשנת 2008 ב־1,568 מיליוני ש"ח, ובשנת 2009 ב־1,834 מיליוני ש"ח. הכנסות אלה היו ב־2009 כ־48% ביחס להוצאות מו"פ של האוניברסיטאות. לשם השוואה ההכנסות המקבילות בארצות הברית היו כ־5% ביחס להוצאות מו"פ, בבריטניה כ־2%, באוסטרליה 1.5%, ובקנדה כמחצית האחוז.

עיקר ההכנסות התקבלו מחברות ישראליות – 908 מיליוני שקלים ב־2008 ו־1,333 מיליוני שקלים ב־2009.

שיעור ההכנסות ממכירת קניין רוחני ומתמלוגים בתחום מדעי החיים והרפואה היה הגבוה ביותר בשנים 2008 (72.6%) ו־2009 (92.1%).

מספר הבקשות הראשוניות לפטנטים ל־1,000 משרות מלאות במו"פ באוניברסיטאות גם הוא גבוה במידה ניכרת מזה שבמדינות האחרות שלהן נעשתה ההשוואה: בישראל כ־43, באוסטרליה 21, בקנדה 21 ובבריטניה 12.

לוח ב11: השוואות בין־לאומיות של מדדים נבחרים במסחור ידע

בריטניה		ארצות הברית		אוסטרליה		קנדה		ישראל		מדינה
2009 (3)	2008 (3)	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	שנים
168,936	163,529	-	-	-	61,310	-	62,340	8,987	9,152	מספר משרות מלאות במו"פ באוניברסיטאות
2,012	2,097	11,260	11,197	1,253	1,274	-	755	384	395	מספר בקשות ראשוניות לפטנטים
11.9	12.8	-	-	-	20.8	-	12.1	42.7	43.2	מספר בקשות ראשוניות לפטנטים ל־1,000 משרות מלאות במו"פ באוניברסיטאות
494	774	6,393	8,560	214	250	-	191	1,834	1,568	הכנסות ממכירת קניין רוחני ותמלוגים, במיליוני ש"ח
44,269	38,120	-	183,563	-	16,292	36,337	31,774	3,847	4,129	הוצאות על מו"פ באוניברסיטאות, במיליוני ש"ח
0.011	0.020	-	0.047	-	0.015	-	0.006	0.477	0.380	הכנסות ביחס להוצאות מו"פ באוניברסיטאות

ממצאי סקר בין-לאומי על קריירות של בעלי תואר שלישי³²

מדובר בסקר שנערך לאחרונה ביזמה משותפת של ה-OECD, האיחוד האירופי ואונסקו. הסקר תוכנן במתכונת אחידה ונעשה, בעת ובעונה אחת, ברוב המדינות החברות באיחוד האירופי ובמדינות נוספות החברות ב-OECD וב-EFTA. ישראל השתתפה במיזם באמצעות הלמ"ס, שערכה את הסקר המקומי, ובאמצעות המולמו"פ, שהקציבה את המימון לעריכתו.

הרציונל של עריכת הסקר:

למשאבי אנוש תפקיד מפתח בייצור, בהטמעה ובהפצה של חדשנות. בעלי תואר שלישי שבהם אינם רק בעלי הכישורים הגבוהים יותר, במונחים של השכלה, אלא גם אלה שהוכשרו במיוחד לעסוק במחקר. בהעדר מידע מקיף ומפורט על מהלך הקריירה ודפוסי הניידות של קבוצה חשובה זו, החליטו הגופים האמורים לצרף כוחות כדי לפתח מדדים בני השוואה בין-לאומית לקריירות ולניידות של בעלי התואר השלישי.

אפיון אוכלוסיית בעלי תואר שלישי בישראל:

בישראל כ-34 אלף בעלי תואר שלישי מתחת לגיל 70. שיעור הנשים שבהם כ-40%, בדומה לפינלנד וגבוה מזה שבארצות הברית (31%), הולנד (31%), שווייץ (33%) ודנמרק (36%).

אוכלוסיית בעלי תואר שלישי בישראל היא מן המבוגרות שבקבוצת המדינות שהשתתפו בסקר. רק 28% מהם מתחת לגיל 45, לעומת 74% בבלגיה, 73% בגרמניה, 62% בהולנד, 55% בדנמרק ו-53% בארצות הברית.

לוח ב-12: בעלי תואר שלישי לפי מין וגיל, 2009

נשים		גברים		סך הכול		גיל
אחוז	מספר (באלפים)	אחוז	מספר (באלפים)	אחוז	מספר (באלפים)	
100.0	13.1	100.0	20.4	100.0	33.6	סך הכול
36.7	4.8	22.8	4.7	28.3	9.5	עד 44
25.2	3.3	29.1	5.9	27.6	9.3	45-54
29.8	3.9	35.8	7.3	33.4	11.2	55-64
8.3	1.1	12.3	2.5	10.7	3.6	55-70

בשנת 2009 היו כמחצית מבעלי תואר שלישי (53%) ילידי ישראל, 20% ילידי ברית המועצות לשעבר ו-21% ילידי אירופה (ללא ברית המועצות), אמריקה ואוקיאניה. אשר למקור התואר, 62% קיבלו את התואר השלישי ממוסד אקדמי בארץ, 16% ממוסד אקדמי בברית המועצות לשעבר ו-21% באירופה (ללא ברית המועצות), אמריקה ואוקיאניה.

בשנת 2009 42% מבעלי התואר השלישי בישראל התמחו בתחום מדעי הטבע. זהו שיעור הגבוה במידה ניכרת מכל המדינות האחרות שהשתתפו בסקר. התחום השני בכובד משקלו בישראל הוא תחום מדעי החברה - 24% - וגם זה גבוה מיתר המדינות שבסקר, למעט מלטה (29%). לעומת

32 ראו: www.oecd.org/dataoecd/44/36/49867563.xlsx

וכן: http://www.cbs.gov.il/reader/newhodaot/hodaa_template.html?hodaa=201106279

זאת משקלו של תחום החקלאות בישראל היה נמוך במיוחד (1.9%), ורק במלטה נמדד שיעור נמוך מזה (1.3%).

לוח ב13: בעלי תואר שלישי לפי תחום ההתמחות (אחוזים)

מדינה	שנה	סך הכול	מדעי הרוח	מדעי החברה	חקלאות	מדעי הרפואה	הנדסה	מדעי הטבע
בלגיה	2009	100	9.6	11.8	6.4	16	19.2	33.7
בולגריה	2009	100	20.3	16.2	8.1	9.5	26.5	18.3
קרואטיה	2009	100	12.8	16.9	10.5	19.9	19.5	20.4
דנמרק	2009	100	10.9	10.7	9.2	23.6	24.7	20.9
פינלנד	2008	100	10.5	18.5	3.2	28.4	16.4	22.9
הונגריה	2009	100	14.1	20.1	9.6	10.5	12	32.7
איסלנד	2009	100	11.8	20.1	2.2	17	10	33.2
ישראל	2009	100	12.5	24.1	1.9	9.1	9.4	41.8
לטוויה	2009	100	13.1	19.4	3.1	13	20.5	30.9
ליטא	2009	100	12.8	19.3	6.5	15	19.2	27.3
מלטה	2009	100	27.8	28.9	1.3	14.6	11.3	16.1
הולנד	2009	100	6.3	18.4	4.1	26.2	18.3	26.7
נורווגיה	2009	100	9.8	16.8	5.2	22.2	15.6	24
פולין	2008	100	16.8	17.8	7.7	11	20.1	26.6
פורטוגל	2009	100	11.6	20.2	3.3	9.3	22.7	32.9
רומניה	2008	100	16.6	16.8	7.6	18	23.5	17.5
רוסיה	2009	100	7.1	18.2	5.1	6	26.2	37.4
סלובניה	2009	100	12.5	19.8	6	12.6	21.6	27.1
ספרד	2009	100	14.7	20.1	3	20.9	8	33.3
שוודיה	2009	100	7.3	11.9	2.4	24.3	19.8	18
תורכיה	2009	100	11.1	16.2	7.5	37.4	13.2	14.6

Source: OECD, based on OECD/UNESCO Institute for Statistics/Eurostat data collection on careers of doctorate holders 2010.

אבטלה בקרב בעלי תואר שלישי

שיעור המובטלים בקרב בעלי תואר שלישי בישראל בשנת 2009 היה 2.3%. אמנם שיעור זה הוא אחד הגבוהים בקרב המדינות שהשתתפו בסקר, אך הוא נמוך מאוד בהשוואה לשיעורי המובטלים בכלל אוכלוסיית האקדמאים (4.6%) ובכלל האוכלוסייה (6.7%).

לפי תחומי התמחות, שיעור המובטלים הגבוה ביותר הוא בענף החקלאות (9.9%). בתחום זה נמצאו שיעורי אבטלה גבוהים יחסית ליתר התחומים ברוב המדינות האחרות, אך השיעור בישראל חריג בגודלו ביחס ליתר המדינות – השיעור השני בגודלו בענף החקלאות היה בספרד (4.6%).

לוח ב-14: מובטלים בעלי תואר שלישי בישראל לפי תחום מדעי, 2009

אחוז מובטלים ³⁴	מהם מובטלים ³³	סך הכול בעלי תואר שלישי	
2.3	680	33,600	סך הכול
			לפי תחום התמחות
3.7	160	4,200	מדעי הרוח
1.0	80	8,100	מדעי החברה
2.2	310	14,000	מדעי הטבע
2.4	70	3,100	מדעי הרפואה
9.9	60	600	חקלאות
-	-	3,200	הנדסה
-	-	400	לא ידוע

³³ לא כולל תחום הנדסה ולא ידוע.

³⁴ סך המובטלים הידועים כ- % מסך בעלי תואר שלישי בתחומים שבהם ידוע מספר המובטלים.

לוח 15: שיעורי אבטלה של בעלי תואר שלישי לפי תחום התמחות, 2009

אחוזים								
מדעי הרוח	מדעי החברה	מדעי החקלאות	מדעי הרפואה	הנדסה	מדעי הטבע	סך הכול	שנה	
3.7	1.9	0.7	0.7	0.9	1.4	1.4	2009	בלגיה
1.5	0	0	1.1	0.6	0.8	0.7	2009	בולגריה
0.5	1.1	1	1.5	0	0.4	0.7	2009	קרואטיה
1.1	0.4	1	0.4	0.1	0.6	0.5	2008	דנמרק
3.6	2.3	3.4	0.8	1.4	3.1	2.1	2008	פינלנד
-	-	-	-	-	-	1.8	2009	גרמניה
2.8	0	0	1.1	0.9	0.5	0.9	2009	הונגריה
3.7	1	9.9	2.4	-	2.2	³⁵ 2.3	2009	ישראל
2.4	1.5	2.8	1.3	0.7	1.8	1.6	2009	לטוויה
0.7	0.3	0	0.6	0.3	0.2	0.4	2009	ליטא
0	0.9	0	1.6	1.9	1.4	0.9	2009	מלטה
3.9	1.3	1.7	0.6	1.3	1.7	1.4	2009	הולנד
2.2	0.9	1.2	1	1.1	1	1.2	2009	נורווגיה
1.8	0.4	1.7	0.7	0.8	2.1	1.3	2008	פולניה
0.3	0.4	0.4	1.1	0.6	0.2	0.4	2009	פורטוגל
2.4	1.4	4.6	1.2	1.5	2.8	2.1	2009	ספרד
0.2	1.2	1.7	0.8	0.8	0.7	0.9	2009	תורכיה
-	1.1	1.6	1.5	1.6	1.7	1.5	2008	ארצות הברית

שהות ממושכת בחו"ל של מקבלי תואר שלישי מישראל³⁶

קידום והרחבת הידע המדעי בקרב חוקרים ישראלים מושתתים בין היתר על פעילות מדעית בחו"ל במסגרת שבתונים, בתר־דוקטורט וכינוסים מדעיים. שהות ממושכת בחו"ל מוגדרת כיציאה מהארץ במועד מסוים למשך שנה ומעלה, ואשר לאחר אותה שנה לא הייתה שהייה בארץ ברצף במשך 90 יום. זוהי הגדרה טכנית המשמשת את הלמ"ס לאומדני האוכלוסייה הקבועה. מעמד שהות ממושכת בחו"ל נקבע, נכון לשנת 2010, בלא קשר למועד תחילתה של תקופת השהות הממושכת בתנאי שעמדה בשני הקריטריונים הללו. הנתונים דלהלן אינם מציינים בהכרח ירידה מן הארץ. יציאה

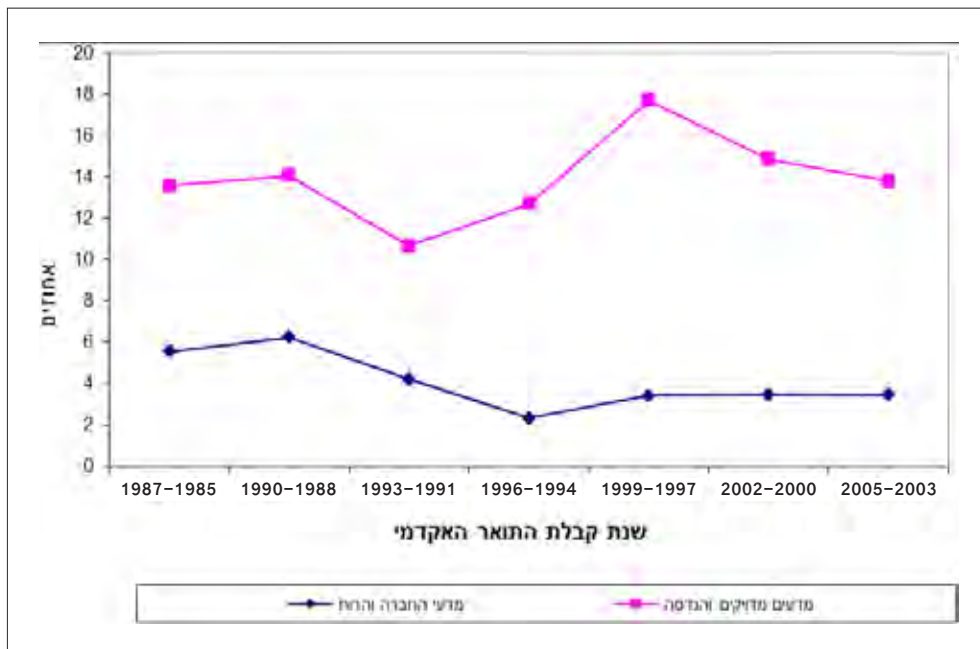
35 במקור (OECD) הנתון הוא 2%. זה התקבל בחילוק סך כל המובטלים הידועים בסך כל מקבלי תואר שלישי מכל תחומי ההתמחות. הנתון המתוקן (2.3%) התקבל בחילוק סך כל המובטלים הידועים בסך כל מקבלי תואר שלישי בתחומי ההתמחות שבהם ידוע מספר המובטלים. 36 המקור: הלמ"ס, הודעה לעיתונות מיום 29.5.2011.

לחול להשתלמות בתר־דוקטורט, לשבתונים ולהשתלמויות ארוכות אחרות עשויה אפוא להיכלל בהגדרה של שהות ממושכת בחו"ל, אף שהיא הכרחית כדי שישראל תישאר בחזית המדע.

מספרם של מקבלי תואר שלישי עלה בהתמדה מ־626 בשנים תשמ"ה-תשמ"ו ל־2,632 בשנים תשס"ז-תשס"ח. בסך הכול קיבלו בשנים הללו תואר שלישי מאוניברסיטאות בישראל 16,041 תושבי ישראל. נכון לשנת 2010 11.9% מהם שהו שהות ממושכת בחו"ל.

נכון לשנת 2010 היה שיעור מקבלי תואר שלישי בתחומי המדעים המדויקים בשנים תשמ"ה-תשס"ח ששהו שהות ממושכת בחו"ל (15.9%) גבוה פי 3.5 לערך מזה שבמדעי הרוח והחברה (4.8%).

איור ב11: שיעור מקבלי תואר שלישי בשנים 1985-2005 השהים בחו"ל שהות ממושכת נכון לשנת 2011, לפי תחומי לימוד



פרק ג



פרק ג: מקומן וחלקן של אוניברסיטאות המחקר במערכת המדע והמחקר בישראל

ראשי פרקים:

- כללי
- אוניברסיטאות המחקר
- המכללות האקדמיות ומכוני המחקר

פרק זה מתאר את מקומן וחלקן של אוניברסיטאות המחקר במערכת המדע בישראל על פי דיווחים שנמסרו מראשי האוניברסיטאות.

כללי

בבואנו לסקור את מצב המדע בארץ מובן מאליו שהתרומה המרבית לקידומו היא של אוניברסיטאות המחקר, שבהן נעשה עיקר המחקר הבסיסי, אך מקום קיומו זה של המחקר הבסיסי דווקא אינו מובן מאליו. במדינות רבות, למשל צרפת, גרמניה, רוסיה, סין ומדינות אחרות, עיקר המחקר הבסיסי נעשה במכוני מחקר לאומיים. בארצות הברית עיקר המחקר הבסיסי נעשה באוניברסיטאות מחקר ובמכוני מחקר רבים מסוגים שונים. בארץ הלכנו במודע בעקבות ארצות הברית ומיקמנו למעשה את כל המחקר הבסיסי באוניברסיטאות. החלטה זאת היא אחד מעמודי התווך של מדיניות המדע הישראלית. היא באה מתוך ההכרה שבמדינה קטנה קשה, עד בלתי אפשרי, לקיים מחקר מדעי ברמה גבוהה במכוני מחקר לאורך זמן. ניסיונות להקים מכוני מחקר לא צלחו, למעט מכון ויצמן למדע, שהחל כמכון מחקר מדעי והפך לאוניברסיטת מחקר ובה לימודים לתארים גבוהים; מכון וולקני, שנוסף על המחקר נותן שירות לחקלאות הישראלית וכן מכוני מחקר של מערכת הביטחון, כמו רפ"ל. היתרונות הגדולים שבעשיית מחקר מדעי בסיסי באוניברסיטאות המחקר הם בכך שחברי הסגל האקדמי מעוררים היטב בנעשה בעולם ומתחרים עם עמיתיהם בתחומי התמחותם, ובעובדה שהמחקר נעשה על ידי סטודנטים צעירים ומוכשרים לתואר גבוה שמתחלפים כל הזמן, ובכך נשמרת חיוניות העבודה המדעית.

בשלושה סקרי דעת קהל שנערכו בשנים 2003, 2006 ו-2009 ונועדו לבחון את האמון במוסדות ואת הגאווה בהישגיה של ישראל, נמצא שמבחינת האמון במוסדות עומדים בראש סולם העדיפויות, לפי הסדר: צה"ל (74.3) והאוניברסיטאות (70.1). אשר לגאווה בהישגי המדינה, בראש הסולם ניצבים המדע והטכנולוגיה – בציון ממוצע של 81.3 – וכוחות הביטחון – בציון 73.3³⁷.

בישראל פועלות אוניברסיטאות המחקר – האוניברסיטה העברית בירושלים, הטכניון, אוניברסיטת תל-אביב, מכון ויצמן למדע, אוניברסיטת בן-גוריון, אוניברסיטת בר-אילן ואוניברסיטת חיפה, ובהן לומדים יותר מ-120,000 סטודנטים, והסגל שלהן מונה כ-4,300 מדענים. בנוסף לאוניברסיטאות אלה נמנית גם האוניברסיטה הפתוחה – אשר עוסקת בהוראה מרחוק (בהתכתבות או אלקטרונית) – הפועלת עם סגל מצומצם (כ-90 איש), ולומדים בה 46,000 סטודנטים. לאחרונה, בשנת תשע"ג (לאחר איסוף הנתונים לדוח זה) הוכר המרכז האוניברסיטאי באריאל כאוניברסיטה. בכל אחת מהאוניברסיטאות קיימת הוראה מקיפה, ונוסף עליה נעשה מחקר בכל תחומי המדע, דהיינו מדעי הטבע, מדעי הרוח ומדעי החברה, בתמהיל שונה בכל אוניברסיטה. המשותף לכל האוניברסיטאות הוא השאיפה למצוינות, אשר באה לידי ביטוי ברמת המחקר, במדדים אובייקטיביים למצוינות ובפרפרות המחקר וכן במספר אנשי הסגל הזוכים בפרסים יוקרתיים בארץ ובחו"ל, כולל פרס נובל, על הישגיהם המדעיים בכל תחומי המדע. תיאור מקצת ההישגים האלה לאורך השנים מופיע בנספח 2.

הרמה המדעית הגבוהה של האוניברסיטאות באה לידי ביטוי גם בזכיית המדענים הישראלים במענקי מחקר תחרותיים. הקרן הלאומית למדע מממנת יותר מ-1,000 מענקים בשנה, בכל תחומי המחקר, וזאת על פי שיפוט בין-לאומי הקובע את מצוינותם. יתר על כן, בשנים האחרונות החלה המועצה האירופית למדע (European Research Council – ERC) לממן מענקי מחקר בסכומים גבוהים בשתי קטגוריות – למדענים צעירים ולמדענים בכירים. בשתי הקטגוריות זוכים המדענים

37 המקור: סקר שנעשה על ידי פרופ' אפרים יער וגב' יסמין אלקלעי, מוסד נאמן, מרס 2010.



הישראלים הרבה מעבר לכל פרופורציה לעומת ארצות אחרות באירופה, והדבר גם מתבטא בהיקף המימון המגיע לארץ מהאיחוד האירופי, הגדול בהרבה מההשתתפות הישראלית במימון המחקר המדעי בתכנית המסגרת של ה-EU.

נתון נוסף המצביע על מצוינות הוא הפרסומים המדעיים, במיוחד אותם מאמרים המתפרסמים בכתבי עת מדעיים יוקרתיים. המדדים המקובלים הם מספר המאמרים ומספר הפעמים שהם מצוטטים על ידי אחרים, כלומר בפרסומים מדעיים של מדענים אחרים. מקובל שמדד זה מעיד על איכותו של המאמר ועל מידת השפעתו. בשני המדדים האלה – מספר הפרסומים המדעיים (ביחס למספר התושבים) ומספר הציטוטים – ישראל נמצאת בעמדה טובה מאוד בעולם, ואף בקרב הארצות המפותחות. בתחומים מסוימים, כגון מתמטיקה-פיזיקה ובעיקר מדעי המחשב, הרמה המדעית של ישראל היא הגבוהה ביותר בעולם. עם זאת יש לציין שבשנים האחרונות, בעיקר בעקבות "העשור האבוד" והירידה בתקצוב של מערכת ההשכלה הגבוהה, חלה ירידה בדירוג ישראל הן במספר המאמרים המדעיים המתפרסמים והן במספר הציטוטים, ונתונים אלה מדאיגים ביותר.³⁸

לוח ג1: ישראל בהשוואה ל-20 המדינות המובילות בתוצרי מאמרים (מבוסס על מדד CPA – מספר ציטוטים למאמר, מנתוני 2007–2011)

Country ranking, based on articles from 2007 - 2011	Articles	Growth	Articles by sector			Citation count	CPA Citation Per Article
			Academic	Government	Industry		
Switzerland	134053	6.08%	82.11%	10.53%	7.36%	1085065	8.09
Netherlands	187939	6.27%	82.19%	10.39%	7.42%	1389400	7.39
Sweden	119397	4.87%	95.08%	2.34%	2.57%	825325	6.91
United States	2171338	3.21%	77.86%	13.46%	8.68%	14457614	6.66
United Kingdom	596390	3.99%	83.21%	9.73%	7.06%	3927780	6.59
Germany	535797	5.34%	71.77%	19.57%	8.66%	3439422	6.42
Canada	345482	4.06%	85.56%	8.62%	5.82%	2084805	6.03
Israel	70530	1.37%	84.92%	3.21%	11.87%	422285	5.99
France	404655	4.47%	57.05%	28.82%	14.13%	2324250	5.74
Italy	325512	4.39%	73.63%	19.02%	7.35%	1834585	5.64
Australia	248078	8.17%	81.35%	8.69%	9.96%	1368170	5.52
Spain	278861	7.60%	70.62%	17.17%	12.21%	1401471	5.03
Japan	495927	1.86%	75.71%	16.35%	7.94%	2231721	4.5
Korea (Republic of)	236206	9.28%	77.42%	17.56%	5.02%	864627	3.66
Taiwan	162714	7.58%	87.37%	5.14%	7.48%	568724	3.5
Poland	110632	5.53%	79.78%	19.13%	1.09%	373436	3.38
Brazil	192144	9.67%	89.69%	9.11%	1.19%	587193	3.06
Turkey	124107	9.37%	94.08%	2.29%	3.63%	355268	2.86
India	277314	17.60%	73.01%	24.13%	2.86%	781925	2.82
Russian Federation	134889	4.54%	36.16%	63.84%	0.00%	357195	2.65
China	1157734	19.46%	84.30%	13.94%	1.76%	2805028	2.42

38 מקור: Elsevier's Scopus database and SciVal suite.

לכל אחת מאוניברסיטאות המחקר תרומה ייחודית, כמצוין להלן:³⁹

אוניברסיטאות המחקר

האוניברסיטה העברית בירושלים היא הוותיקה שבאוניברסיטאות (נוסדה בשנת 1925). היא נמנית עם 100 האוניברסיטאות הטובות בעולם, אלה הקובעות את סדר היום האקדמי העולמי. לאוניברסיטה ארבעה קמפוסים:

- הר הצופים – משמש את מרבית הפקולטות של האוניברסיטה ואת מרבית משרדי המנהל שלה.
- גבעת רם – משמש את אלה: הפקולטה למתמטיקה ומדעי הטבע, החוג להוראת המדעים, בית הספר למדע יישומי, המכון ללימודים מתקדמים וחלק ממשרדי המנהל, כגון יחידת הרכש.
- עין כרם – משמש את מקצועות הבריאות: הפקולטה לרפואה, הפקולטה לרפואת שיניים ועוד.
- רחובות – בה נמצאת הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה.

לאוניברסיטה גם מעבדה לביולוגיה ימית באילת ובית חולים וטרינרי אוניברסיטאי בבית דגן.

מלבד המחקר המצוין במדעי הטבע והמצוינות המיוחדת בתחום המתמטיקה (בקנה מידה עולמי) ומלבד בית הספר לרפואה המצוין שלה בשיתוף עם המרכז הרפואי הדסה בעין כרם, האוניברסיטה שמה דגש מיוחד בחקר התרבות והמורשת היהודית ושימורה. פעילות זו כוללת את המכון למדעי היהדות והמכון ליהדות בת זמננו, המתמודדים עם תחומי מחקר חדשים. מלבד זאת פועלת האוניברסיטה לאחורנה להבראת מדעי הרוח. חשוב לא פחות – האוניברסיטה פועלת וחייה בקהילה ירושלמית מגוונת ותורמת לקשרי "עיר-אקדמיה", בתיאום עם המכללות האקדמיות הירושלמיות ועם האקדמיה למוסיקה.

הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל החל דרכו בשנות העשרים של המאה העשרים כבית ספר גבוה להכשרת מהנדסים. במשך עשרות שנים הוא היה המוסד היחיד בארץ שהכשיר מגוון מהנדסים, ממהנדסים אזרחיים עד מהנדסי אווירונאוטיקה וחלל, ועד היום הוא מספק את מרב המהנדסים לתעשייה, למשק ולמערכות הביטחון. בתום מלחמת העצמאות, בתחילת שנות החמישים, הוקמו בטכניון פקולטות ללימודי המדעים המדויקים, והוא הפך מבית ספר גבוה למהדסים לאוניברסיטת מחקר מדעית-טכנולוגית השמה דגש בעיקר במחקר מדעי בכל תחומי ההנדסה והמדע ולאחריהם בלימודי הביולוגיה והרפואה. מאז היווסדו הכשיר הטכניון עשרות אלפי מהנדסים, רופאים וארכיטקטים. שלושה ממדעני הטכניון זכו בפרס נובל ובעוד פרסים רבים בין-לאומיים יוקרתיים אחרים. המקורות האקדמיים הראשונים של תעשיית ההיי-טק הישראלית מעוגנים בטכניון בפקולטות להנדסת חשמל ואווירונאוטיקה, שנתאפשרו בשל סימביוזה בין הטכניון למערכת הביטחון. כמו כן פותחו בטכניון מכשור רפואי מתקדם ותרופות ופיתוחים טכנולוגיים רבים. בשנות התשעים של המאה העשרים ובעשור הראשון של המאה העשרים ואחת גדלה אוכלוסיית הסטודנטים ב-30% – מכ-9,000 ל-12,000 סטודנטים – תוך קליטת אלפי סטודנטים ומדענים מארצות חבר העמים בזמן העלייה הגדולה. בתקופה זאת עבר הדגש שבמחקר מדעי, כמו בכל העולם המתקדם, למחקר רב-תחומי בהיקפים גדולים, כולל במדעי החיים. הטכניון ממוקם היום בין 25 האוניברסיטאות הטכנולוגיות המובילות בעולם. לטכניון תרומה חשובה גם בעידוד תלמידי תיכון לפנות לכיוון מדעי הטבע וההנדסה, וזאת באמצעות תכניות העשרה לתלמידי תיכון והמוזאון הלאומי למדע, טכנולוגיה וחלל – מדעטק – שמספק חוויות מדעיות לתלמידים צעירים ולאוכלוסייה בכלל.

39 התקצירים המובאים כאן מבוססים על דוחות מפורטים שהתקבלו מהאוניברסיטאות – ראו נספח 2.

אוניברסיטת תל-אביב, אשר הוקמה בשנת 1953, היא הגדולה שבאוניברסיטאות המחקר בישראל, בעיקר הודות למיקומה בלב תל-אביב ואזור גוש דן. עם סגל האוניברסיטה נמנים עשרות חוקרים בעלי שם עולמי (מקצתם חתני פרס ישראל ופרסים בין-לאומיים יוקרתיים אחרים), והמאמרים שמפרסמים אנשי הסגל שלה זוכים לציטוטים רבים. חרף המשבר הכלכלי הפוקד אותה בשנים האחרונות הצליחה האוניברסיטה לשמר את מעמדה המוביל בישראל ובעולם. על פי דירוג מוסדות ההשכלה הגבוהה השנתי של הטיימס הבריטי, בשנת 2008 דורגה אוניברסיטת תל-אביב במקום ה-114 בעולם, מתוך כ-18,000 אוניברסיטאות קיימות. כיום נמצאת האוניברסיטה בעיצומו של תהליך צמיחה והתחדשות. זוהי אוניברסיטת מחקר מובילה וכוללת בתוכה מגוון רחב של פקולטות, תחומי דעת ובתי ספר באמצע מודל של רב-תחומיות ובין-תחומיות. מלבד זאת באוניברסיטת תל-אביב נערכים מחקרים ומיזמים רבים לשימוש מערכת הביטחון הישראלית, ולראיה – חברי סגל של בית הספר למדעי המחשב באוניברסיטה זכו בשנים האחרונות בשבעה פרסי ביטחון ישראל. בעיקר מתמודדת האוניברסיטה עם כמה אתגרים/איזונים מרכזיים, ובהם איזון בין מצוינות לנגישות; בין מוקדי מצוינות ב"מרכזים" לבין מצוינות מרכזית; בין מחקר עיוני למחקר יישומי; בין לימודים עיוניים ללימודים מעשיים; בין בין-תחומיות למצוינות תחומית; בין תכנון מלמעלה לצמיחה מהשורשים; איזון בין תחומים אקדמיים שונים. עם זאת הדגש העיקרי הוא במצוינות, אשר מתבטאת בין השאר בפרסים שבהם זוכים חברי הסגל לאורך השנים, גם בשנים האחרונות.

מכון ויצמן למדע, אף על פי שאין בו לימודים לתואר הראשון, הוא נמנה עם אוניברסיטאות המחקר, מאחר שלמרות היותו בעיקר מכון מחקר בתחום מדעי הטבע בלבד, יש בו גם לימודים לתארים גבוהים. מלבד זאת פועל במסגרתו מכון דוידסון להוראת המדעים. המחקר במכון מתנהל במגוון רחב של תחומים, ממתמטיקה טהורה ועד למחקר בירופואי, הנושק ליישום קליני ופיתוח תרופות. מאז הקמתו התמקד מכון ויצמן במדע בסיסי, המונע מסקרנות אינטלקטואלית, ומטרתו היחידה היא הרחבת גבולות הידע האנושי מתוך אמונה שגילויים מדעיים כשלעצמם הם נכס חשוב. השאיפה העיקרית של כ-260 קבוצות המחקר במכון היא ליצור גוף ידע חדש, אולם באופן כמעט פרדוקסלי, דווקא סוג זה של מחקר, המבוסס על "אקראיות" וסקרנות, הוביל בעבר – באמצעות חברת "ידע מחקר ופיתוח" – לפיתוח מוצרים שימושיים. מצוינות המכון מתבטאת במספר הגדול של מדעני המכון שזכו בפרסים יוקרתיים בארץ ובעולם, כולל פרס נובל, לאורך השנים וגם בשנים האחרונות.

אוניברסיטת בן-גוריון בנגב, אשר הוקמה בשנת 1969, פועלת לשיפור התשתיות המחקריות והאנושיות בקמפוס, באמצעות הגדלת מספר הסטודנטים ותלמידי המחקר והגבהת רמת איכותם, ובהענקת חינוך והכשרה מקצועית שעומדים בסטנדרטים הגבוהים ביותר בתחומי הדעת השונים. לאוניברסיטה חמש פקולטות: הפקולטה למדעי הטבע, הפקולטה למדעי ההנדסה, הפקולטה למדעי הרוח והחברה, הפקולטה למדעי הבריאות – הכוללת את בית הספר לרפואה – והפקולטה לניהול. בכל אחת מהפקולטות כמה מחלקות העוסקות במגוון נושאים בתחומן.

בפקולטה למדעי ההנדסה נעשים כמה מחקרים שהם פורצי דרך הן מבחינת המחקר האקדמי והן מבחינת התרומה לתעשייה ולחברה, ולכך דוגמאות רבות. המחלקה לניהול מלונאות ותיירות בפקולטה לניהול מדורגת במקום השישי בעולם בתחום זה. המחלקה לניהול מערכות בריאות אף היא זוכה למוניטין. בפקולטה למדעי הטבע נעשים מחקרים בתחומים שונים, ובהם ביוטכנולוגיה, ברמה גבוהה. הפקולטה למדעי הרוח והחברה יוצרת הזדמנויות להוראה ומחקר חוצה גבולות, והפקולטה למדעי הבריאות היא ייחודית בדרכה להכשרת רופאים, לקשר בין הרופאים לקהילה ולשילוב של חוקרים בסיסיים עם חוקרים קליניים. ולבסוף לאוניברסיטה שלושה מכוני מחקר מרכזיים: מכון בן-גוריון לחקר ישראל והציונות, הממוקם בקמפוס שדה בוקר; המכון לחקר המדבר, הממוקם בשדה בוקר ומתמקד בחקר מקורות המים במדבר, אקולוגיה מדברית ותכנון התיישבות בתנאים מדבריים והמכון למחקר שימושי. כמו כן פועלת שלוחה באילת.

אוניברסיטת בר-אילן הוקמה בשנת 1955 כאוניברסיטה בעלת אוריינטציה דתית, ועד היום פועלת בה הפקולטה ללימודי יהדות הגדולה בעולם. כיום כוללת האוניברסיטה את בית הספר לחינוך ובית הספר לעבודה סוציאלית הגדולים בישראל. כמו כן פועלים בה מכוני מחקר מדעיים בתחומים פיזיקה, כימיה רפואית, מתמטיקה, חקר המוח, כלכלה, לימודי אסטרטגיה, פסיכולוגיה התפתחותית, מוזיקולוגיה, ארכאולוגיה, הלכה והגות יהודית. פועל בה גם מכון מחקר חדיש לננוטכנולוגיה. בשנת הלימודים 2002 נפתח באוניברסיטה בית ספר להנדסת חשמל ומחשבים. בית הספר הפך ב-2011 לפקולטה עצמאית. בתקופה האחרונה נערכו שינויים רבים במבנה האקדמי, וזאת כדי לשנות את תמהיל הסגל האקדמי באופן שעכשיו כ-30% מחברי הסגל משתייכים למדעי הטבע. לשם כך הוקצו עשרות תקנים חדשים ו"סלי קליטה" נאותים. לפני כשש שנים הוקם באוניברסיטה מכון לננוטכנולוגיה וחומרים מתקדמים – אשר כבר עכשיו אפשר להצביע על הישגים חשובים שלו במחקר. כמו כן נפתח לפני עשור בית הספר להנדסה, הכולל בעיקר הנדסת חשמל והנדסת מחשבים והנדסה ביו-רפואית. לפני חצי שנה נפתחה הפקולטה החדשה לרפואה של האוניברסיטה בצפת, שאליה מסונפים שישה בתי חולים בגליל, והיא קולטת חברי סגל חדשים, כולל כאלה החוזרים מחו"ל. ולבסוף – לפני כעשור הוקם בבר-אילן המרכז הרב-תחומי לחקר המוח, אשר עם חוקריו נמנים ביולוגים, אנשי המדעים המדויקים, מתמטיקאים, בלשנים, פסיכולוגים ואנשי מדעי המחשב, המאפשרים פריסה ממחקר קוגניטיבי ועד הרמה המולקולרית. לאוניברסיטה שלוחות (מכללות אזוריות) באשקלון (מכללת אשקלון), בעכו, בירושלים, בצפת ובצמח, ונלמדים בה כ-6,300 קורסים בשנה. חלק מהשלוחות שהיו בעבר שייכות לאוניברסיטה, כדוגמת המכללה האקדמית יהודה ושומרון באריאל (כיום אוניברסיטת אריאל), הפכו לעצמאיות או נמצאות בעיצומו של תהליך זה.

אוניברסיטת חיפה היא הצעירה שבאוניברסיטאות המחקר והחלה את דרכה כאוניברסיטה עצמאית ב-1972. עם הקמת האוניברסיטה אושרו הפקולטה למדעי הרוח, הפקולטה למדעי החברה, בית הספר לחינוך ובית הספר לעבודה סוציאלית. כמו כן נוספו ואושרו החוגים האלה: מקרא, ספרות עברית ולשון עברית, היסטוריה של עם ישראל, היסטוריה כללית, שפה וספרות אנגלית, שפה וספרות ערבית, היסטוריה של ארצות האסלאם, פילוסופיה, שפה וספרות צרפתית, אמנות, חינוך, פסיכולוגיה, גאוגרפיה, סוציולוגיה, מדע המדינה, כלכלה וסטטיסטיקה. בחלק מהחוגים הונהגו תכניות לימודים לתואר מוסמך. בשנת תש"מ-1980 הונהגה התכנית הראשונה ללימודים לקראת תואר דוקטור בחוג לפסיכולוגיה. לאחר מכן נוספה הפקולטה למשפטים. בעשור האחרון התרחבה האוניברסיטה לעיסוק גם במדעי המחשב. כיום היא משקיעה מאמצים רבים בהקמת פקולטה למדעי הטבע, כולל בית ספר חדשני וייחודי למדעי הים. עוד טרם גילוי הגז והנפט בים התיכון ראתה אוניברסיטת חיפה בחקר מדעי הים תחום מחקר בעל עדיפות עליונה, ולאחרונה קיבלה עליה הקמת מרכז מחקר ארצי לחקר הים התיכון.

האוניברסיטה הפתוחה (האו"פ), שהוקמה ב-1974, היא אחת מתשע האוניברסיטאות בישראל המוכרות על ידי המל"ג, וייחודה בקבלתו ללימודי תואר ראשון של כל אדם ללא בחינות קבלה וללא הצגת תעודות על לימודים קודמים, ובקיום לימודים בשיטה של אוניברסיטה פתוחה (למידה מרחוק). אשר ללימודי התואר השני דרישות הקבלה דומות למקובל בשאר האוניברסיטאות. האוניברסיטה הפתוחה הוקמה כדי לאפשר קבלת תואר ראשון לאנשים שאינם יכולים לעשות זאת במסגרת אוניברסיטה רגילה, מסיבות של זמן (אנשים עובדים) או חוסר תעודת בגרות. לכן יכולים ללמוד בה גם תלמידי תיכון, בד בבד עם לימודיהם בבית הספר, וחיילים – בד בבד עם שירותם הצבאי. נוסף על לימודי התארים הראשונים, קיימים באוניברסיטה הפתוחה מסלולים ללימודי תואר שני בכמה תחומים וכן מסלול ללימודי הנדסת תעשייה וניהול. האוניברסיטה היא מוסד ייחודי בשיטות ההוראה שלה ובגמישות שהיא מאפשרת לסטודנטים, בהוראה מרחוק. על פי החלטה היא אינה מפתחת תשתיות מחקר פיזיות-ניסיוניות, אך חברי הסגל נשענים על התשתיות

שבאוניברסיטאות המחקר על פי הסכמים, במחקר עצמאי או בשיתופי פעולה. בתחומים אחדים, כגון חדשנות בטכניקות למידה או פוליטיקה וחברה, יש לאוניברסיטה הפתוחה תרומה ייחודית. סקירה קצרה של תרומת כל אחת משמונה האוניברסיטאות ופעילותה והגישה הייחודית של כל אחת מהן לקידום המחקר מופיעה בנספח 2.

המכללות האקדמיות ומכוני המחקר

מלבד מבאוניברסיטאות המחקר נערך מחקר – יישומי בעיקרו – גם במכללות האקדמיות אם כי עיקר עיסוקן הוא בהוראה. מחקר נערך גם באוניברסיטת אריאל, אשר עד עתה פעלה כמרכז אוניברסיטאי.

ולבסוף מחקר ופיתוח נערך בארץ גם בכמה מכוני מחקר במגזר הממשלתי ובמגזר המלכ"רי, הציבורי והפרטי. אלה כוללים את מכון וולקני לחקלאות, המכון הגיאולוגי, המכון הגיאופיזי, המכון לחקר ימים ואגמים והמכון הביולוגי.

כמו כן קיים מחקר ענף בבתי חולים, הכולל מחקר בסיסי בירופואי ומחקר קליני על ידי הסגל הרפואי, שהם לרוב חברי סגל באוניברסיטאות המחקר.

מידע נוסף על המחקר הרפואי כלול בדוח האקדמיה על המחקר הביורופואי.⁴⁰

המכללות⁴¹ האקדמיות⁴²

התקציר דלהלן מתבסס על נתונים של הלמ"ס וות"ת, על דוח ועדת שוחט ועל דוחות של המולמו"פ.

לפי נתוני ות"ת פועלות בישראל 35 מכללות אקדמיות כלליות ו-24 מכללות אקדמיות להכשרת מורים. בכמה מכללות הפועלות בפריפריה קיימים מסלולים אקדמיים המסונפים לאוניברסיטאות. ברוב המכללות האקדמיות הכלליות וכמעט בכל המכללות האקדמיות להכשרת מורים מתקיימים לימודים לתואר שני. בשנת הלימודים תשע"א למדו במכללות האקדמיות כ-130,000 סטודנטים לתואר ראשון ושני.

עד שנת תש"ן הייתה מערכת ההשכלה הגבוהה בישראל מושתתת כמעט בלבדית על האוניברסיטאות, שבהן למדו באותה שנה כ-85% מכלל הסטודנטים לתואר ראשון וכל הסטודנטים לתואר שני ושלישי. בשני העשורים האחרונים, בעקבות מדיניות ות"ת, חלה תמורה של ממש במערכת ההשכלה הגבוהה, שהתבטאה בצמיחה תלולה של מגזר המכללות האקדמיות, ובשנת תשע"א 64% מהסטודנטים לתואר ראשון למדו במכללות האקדמיות ובמסלולים האקדמיים של המכללות האזוריות. כמו כן למדו בתשע"א במכללות האקדמיות 24% מהסטודנטים לתואר שני.

יש לציין כי בתקופה הנדונה גדל מאוד הביקוש להשכלה גבוהה, והמספר הכולל של הסטודנטים במערכת ההשכלה הגבוהה בישראל גדל פי למעלה משלושה – מ-76 אלף בשנת תש"ן ל-246 אלף בשנת תשע"א. ות"ת נקטה מדיניות תקצוב שעודדה הקמה והרחבה של המכללות האקדמיות והאטה את קצב ההתרחבות של מסלולים מסוימים באוניברסיטאות. לכן רוב עודפי הביקוש ללימודים לתואר ראשון במדעי החברה, הניהול, המשפטים וההנדסה התנקזו למכללות האקדמיות הציבוריות והפרטיות.

העיקרון המנחה במדיניות ות"ת היה זה: היות שרוב הסטודנטים אינם מתכוונים להמשיך בכיוון מחקרי לאחר השלמת התואר הראשון, מוטב שיקבלו את הכשרתם במכללה שמתמקדת בהוראה

40 ראו: http://www.academy.ac.il/data/reports_data/54/Report_Biomedical_Research_Israel_Final_Heb.pdf

41 המונח "מכללות" מתייחס כאן לכל המוסדות המעניקים תארים אקדמיים שאינם אוניברסיטאות.

42 רשימת המכללות האקדמיות בנספח 5.

ושאינן מתקיים בה מחקר, כי מכללה כזאת יכולה להעניק לסטודנט את ההכשרה שבה הוא מעוניין באיכות גבוהה ובעלות נמוכה (למדינה) לעומת האוניברסיטה.

עם התפתחות מערכת המכללות האקדמיות וגידול הביקוש לתואר שני אישרה המל"ג לרוב המכללות מסלולים לתואר שני ללא תזה.

הגידול בביקוש להכשרה מקצועית היה הגורם המרכזי לגידול הביקוש להשכלה גבוהה. מגמה זו באה לידי ביטוי בלימודי משפטים, מדעי הניהול ולימודי ההנדסה, שגדלו בקצב כמעט כפול מקצב הגידול הכללי של הלימודים לתואר הראשון.

לשינוי בהרכב הביקושים הייתה השפעה שונה על כל אחד ממרכיבי המערכת: האוניברסיטאות קלטו את מרבית הגידול בביקוש למדעי הטבע, הרפואה, מקצועות העזר הרפואיים וחלק קטן מהגידול בביקוש ללימודי ההנדסה, מנהל העסקים ומדעי החברה; המכללות הטכנולוגיות קלטו את מרבית הגידול בביקוש ללימודי ההנדסה; המכללות הכלליות קלטו יותר ממחצית הגידול בביקוש למדעי החברה והניהול.

הגידול המואץ בביקוש למשפטים נקלט במכללות חוץ-תקציביות. ות"ת סברה שהגידול בביקוש לתחום זה עולה על דרישות המשק וסירבה לתקצב את הרחבת המסגרות של לימודי המשפטים במוסדות המתוקצבים. בהעדר תקצוב מתאים נמנעו המכללות המתוקצבות מקליטת תלמידים ללימודים בתחום זה, ובכך התאפשר למוסדות חוץ-תקציביים לקלוט את עודפי הביקוש למרות הפערים הניכרים בשכר הלימוד בינם לבין המערכת המתוקצבת. בהמשך קלטו המכללות החוץ-תקציביות את עודפי הביקוש בלימודי הניהול.

בשנים האחרונות נשמע ערעור על התפיסה המדירה את המכללות מהזירה המחקרית. טיעונים מרכזיים בערעור זה הם שלא תיתכן הוראה אקדמית ברמה גבוהה ללא עשייה מחקרית, ושהטובים בתלמידי המכללות אינם נופלים מעמיתיהם באוניברסיטאות, ומן הדין לאפשר להם להמשיך בלימודיהם לתואר מתקדם. הקביעה כי קידום המקצועי של המרצים במכללות מותנה במחקר וכישלונה של המערכת בעידוד וניתוב כישורי המחקר של סגל המכללות מחזקים טיעונים אלו.

בדיון שקיימה המולמו"פ עם ראשי מכללות במרס 2009 התברר כי בחלק מהמכללות הוקמה תשתית למחקר, בדרך כלל צנועה, ושרבים מחברי הסגל עושים מחקרים משותפים עם אוניברסיטאות ועם תעשיות. כמו כן דווח על קשיים בגישה למתקני מחקר ולספריות (פיזיות ווירטואליות) באוניברסיטאות ועל הקושי לייחד זמן למחקר, מאחר שהעיסוק במחקר במכללה אינו מזכה את איש הסגל בהקלה בעומס ההוראה.

מכוני המחקר

בסקר שערכה הלמ"ס אותרו 104 מכונים ויחידות מחקר במגזר הממשלתי ובמגזר המלכ"רים⁴³ שפעילותם העיקרית היא מו"פ. מהם 24 ממשלתיים, 13 מלכ"רים ציבוריים ו-67 מלכ"רים פרטיים. עיקר הפעילות המחקרית מתבצעת במכוני הממשלתיים ובמיוחד במכוני הוותיקים כגון מינהל המחקר החקלאי (מרכז וולקני), החברה לחקר ימים ואגמים, המכון הגיאולוגי, המכון הגיאופיסי ועוד.

במערכת המו"פ הממשלתי נעשות פעילויות מו"פ יישומי שהוגדרו משימות לאומיות אשר אי אפשר לעשותן אלא במסגרת ממלכתית או ממשלתית. המו"פ הממשלתי נועד לתרום לקידום עתידה החברתי והכלכלי של מדינת ישראל ולהעלאת כלכלתה על פסי צמיחה. מאחר שנדרשת ראייה ארוכת טווח בניהול, עליו להיות מכוון על ידי הממשלה בלי תלות בכוחות השוק.

בישראל, כמו במדינות המפותחות האחרות, שולטת מגמה של הפרטת פונקציות ממלכתיות. אולם

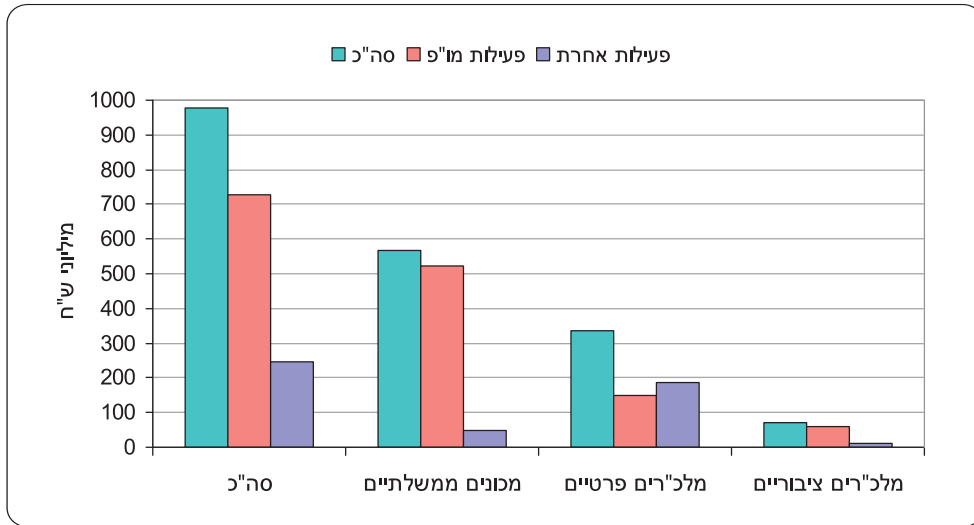
43 לא כולל מכונים ויחידות במסגרת המוסדות להשכלה גבוהה.

אין אפשרות להפריט פונקציות מחקר שאין בהן תועלת כלכלית בטווח הנראה לעין, הנעשות בידי חוקרים ברמה אוניברסיטאית.

במוסדות שלא למטרות רווח מתקיימת פעילות מחקר מגוונת, בעיקר בתחומי הרפואה, מדעי החברה ומדעי הרוח.

ההוצאות הכוללות של מכוני ממשלתיים, מוסדות ויחידות מחקר (להלן מכוני מחקר) לשנת 2009 הסתכמו ב-975.9 מיליוני ש"ח. למו"פ יועדו 728.9 מיליוני ש"ח, ומהם 520.9 מיליוני ש"ח (71.5%) במכוני ממשלתיים, 148.2 מיליוני ש"ח (20.3%) במלכ"רים פרטיים ו-59.8 מיליוני ש"ח (8.2%) במלכ"רים ציבוריים.

איור 1: הוצאות מכוני מחקר לפי מגזר וסוג הוצאה, 2009



לוח 2: כוח אדם במו"פ במכוני המחקר לפי רמת השכלה, מגדר וגיל, 2009

מלכ"רים ציבוריים	מלכ"רים פרטיים	מכוני ממשלתיים	סך הכול	
170	780	1805	2,755	סך הכול מועסקים
40	362	772	1,174	מהם נשים
127	613	962	1,702	אקדמאים (כולל מהנדסים)
38	318	411	767	מהם נשים
60	201	475	736	בעלי תואר שלישי
8	57	147	212	מהם נשים
				גיל אקדמאים
11	5	2	18	24-18
21	171	139	331	34-25
35	170	232	437	44-35
24	149	188	361	54-45
36	119	401	556	55+

פרק 1



פרק ד: דוחות האקדמיה - הסתכלות תחומית

ראשי פרקים:

- מצב הארכאולוגיה בישראל: סקירת ביניים
- המחקר בתחומי הגז, הנפט ואזורי ה־EEZ
- מחקר המגוון הביולוגי
- מצב המחקר הביו־רפואי
- מחקר ההיסטוריה באוניברסיטאות ישראל
- מדעי הרוח באוניברסיטאות המחקר בישראל

מתוך חוק האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים:

בחוק האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים, התשכ"א-1961 (להלן - החוק העיקרי), בסעיף 2, במקום פסקאות (2) ו-(3) יבוא:

"(2) לייעץ לממשלה בסוגיות בעלות חשיבות לאומית בתחום המחקר והתכנון המדעי, לרבות במתן הערכות מצב לאומיות ביוזמת האקדמיה, ולהגיש דוחות וסקירות כאמור בסעיף 24, וכן לייעץ ולתת מידע למשרדי הממשלה לפי פנייתם בהתאם להוראות סעיף 24;

(3) לטפח ולקדם פעילות מדעית, לרבות פעילות מדעית בין-תחומית ופעילות מדעית בתחומי דעת חדשים;"

"(4) קבלת ייעוץ ומידע מהאקדמיה

(ב.4) משרד ממשלתי רשאי לפנות לאקדמיה לשם קבלת ייעוץ ומידע בנושאים בתחום מטרות האקדמיה ותפקידיה, שנדרש לגביהם ידע מדעי או נושאים הקשורים לפיתוח המדע בישראל; מתן ייעוץ ומידע כאמור ימומן מסעיף התקציב של אותו משרד ממשלתי כפי הדרוש לביצועו, בכפוף להוראות לפי חוק יסודות התקציב; בסעיף זה - 'חוק יסודות התקציב' - חוק יסודות התקציב, התשמ"ה-1985; 'סעיף תקציב' - כהגדרתו בחוק תקציב שנתי, כמשמעותו בחוק יסודות התקציב."

האקדמיה סוקרת ביזמתה או ביזמת הממשלה תחומי מחקר שונים. לאחרונה מינתה האקדמיה ביזמתה ועדה בתחום הגז והנפט מיד עם פרסום התגליות, וכן נבדקו תחומים שונים כמו תחליפי נפט, ביו-רפואה, ארכאולוגיה, מדעי הרוח ותחום ההיסטוריה.

מצורפים תקצירים מהדוחות. פירוט הדוחות באתר האקדמיה.

מצב הארכאולוגיה בישראל: סקירת ביניים

ועדת הבדיקה בראשות פרופ' יורם צפירי, החלה בעבודתה בשנת 2011, והיא תשלים את דינויה בקרוב. דף זה מעיד על הנושאים שעמדו בפני הוועדה, אך אין בהם, לפי שעה, סיכום או מסקנות.

הוועדה כינסה כמה ישיבות של מליאת הוועדה וישיבות של שלוש ועדות משנה:

1. מצב הארכאולוגיה במוסדות האקדמיים בישראל

2. מצב המחקר הארכאולוגי בישראל

3. חברה וארכאולוגיה

בתחום הראשון הסתמכה הוועדה במידה רבה על דוח ועדת הבדיקה הבין-לאומית של המל"ג, נתנה דעתה על כמה נושאים חיוניים, כגון נושא ההכשרה המעשית בעבודת השדה והענקת "תעודת חוקר", "קיפוח" יחסי של חלק מן התקופות, דוגמת ימי הביניים והתקופה העות'מאנית, במערך ההוראה והמחקר האוניברסיטאי, קיצוץ בלימודי הלשוניות העתיקות ועוד.

בתחום המחקר התמקדה הוועדה עד עתה בנושאים האלה: שילוב המדעים המדויקים בארכאולוגיה ויצירתו של ענף ה"מיקרו-ארכאולוגיה" (בשיתוף עם מכון ויצמן למדע), פיזור ההתמחות בענפים המדעיים השונים - כגון פלאוזואולוגיה, פלאובוטניקה, שיטות תיארוך ובדיקות גאופיזיות - בין המוסדות השונים, ההפסד המדעי הנגרם מן האיסור על מחקר אנתרופולוגי פיזי (חשיפת קברים) והדרכים להקל את המחקר בתחום זה בגבולות הקיימים. הוועדה נתנה דעתה על הדרישות המצופות ממחקר ארכאולוגי ראוי ועל הרמה שאלה יש להגיע בפרסומים מדעיים. הוועדה דנה בקשיים התקציביים המונעים עיבוד ופרסום נאות של תוצאות המחקר (אף על פי שהארכאולוגיה

נחשבת למדעי הרוח, תקציבי החפירה והעיבוד של החומר הם בסדרי גודל המקובלים במדעי הטבע).

בתחום החברה והארכאולוגיה היו דיונים בתחומים הקשורים בנושא שוד העתיקות והרס האתרים ובדרכים לצמצם נזקים אלה, נערכה השוואה למצב הארכאולוגיה בכמה מדינות באירופה, נידונו תחזוקת האתרים והצגתם לציבור, מצב האתרים בירושלים ושמירת המורשת התרבותית לדורות. בחודש מאי כינסה הוועדה שני ימי עיון פתוחים במסגרת האקדמיה למדעים, ובהם הוצגו הנושאים השונים לפני ציבור הארכאולוגים והציבור הרחב בכלל.

המחקר בתחומי הגז, הנפט ואזורי ה-EEZ

נשיאת האקדמיה מינתה בשנה החולפת שתי ועדות שתפקידן היה לבחון את תחום הנפט והגז בישראל מבחינה מחקרית ולימודית ואת מימוש פוטנציאל הגז והנפט בארץ: הראשונה ועדת מומחים בין-לאומית שחבריה הם מטובי החוקרים בעולם:

International Committee for Mediterranean EEZ (Exclusive economic Zone), Oil and Gas Related Research and Education.

בראש הוועדה הבין-לאומית עמד פרופ' עמוס נור, וחברים בה פרופ' מרלן דוני (Marlan Downey), פרופ' מרטין לנדרו (Landrø Martin) וד"ר הרולד וינגר.

את הוועדה הבין-לאומית ליווה צוות ישראלי בראשות פרופ' צבי בן-אברהם, וחברים בו פרופ' יהושע יורטנר, פרופ' אלן מטיוס, ד"ר יצחק מקובסקי ופרופ' רוני קוזלוב.

לאחר הגשת הדוח של הוועדה הבין-לאומית נתבקשה הוועדה הישראלית לנתחו ולהעיר הערותיה. הוועדה הישראלית הכינה, לפי מסקנותיו, תכנית חירום אקדמית לאומית לנושא זה.

מוקד הדיון הציבורי בישראל בעקבות גילוי מאגרי הגז היה בעיקרו השאלות הכלכליות והמשפטיות של הנושא. נקודה חשובה שנשארה ללא התייחסות הייתה קיום נכסי הלאום של מאגרים אלה, שימורם וטיפוחם. לשם כך יש להכשיר סגל מחקר והוראה ישראלי החסר היום.

מתוך הדוחות עולה תמונת מצב חמורה הדורשת פעולה מידית. סקר של מצב המחקר וההוראה הרלוונטיים בארץ שנעשה על ידי ועדת המומחים הבין-לאומית ביזמתה של האקדמיה, מצביע על פערי ידע גדולים ביותר בתחומים מרכזיים. בקהילה האקדמית כמעט אין חוקרים עצמאיים בעלי שם בתחומים הדרושים. כמו כן חסר שיתוף מהותי של המערכת האקדמית הישראלית על ידי הממשלה והתעשייה.

חלק גדול מהידע הגאולוגי חסוי ומצוי בידי הגופים המסחריים ואיננו זמין לקהילת המחקר בארץ. התכנית שהכינה הוועדה מכוונת ליצירת מוקדי ידע עצמאיים בתוך מערכת ההשכלה הגבוהה, אשר יכשירו כוח אדם לטובת מקבלי החלטות והתעשייה המקומית, וכן יהיו מקור חסר פניות לידע שיעמוד לרשות הציבור. בגלל עמדת הפתיחה הרעועה (של המצב הקיים) על היזמה להיות מידית ומובלת מגבוה, כך קבעה הוועדה.

נשיאת האקדמיה העבירה את הדוחות לעיונם של ראש הממשלה והשרים הרלוונטיים וכן לראשי הות"ת, האוניברסיטאות והקרן הלאומית למדע, ואלה כבר החלו בפעולות לקידום מסקנות הוועדה. נרתמו לקידום הנושא: המשרד לאיכות הסביבה והמשרד לאנרגיה ותשתיות; ות"ת הקימה ועדה למימוש המלצות בראשות פרופ' רות ארנון והקצתה מידית מוקד מחקר באוניברסיטאות כחלק ממימוש המלצות הוועדה; ועדת המדע והטכנולוגיה של הכנסת אימצה אף היא את המלצות האקדמיה ואף פנתה לראש הממשלה לפעול על פיהן. פעילות כוללת זו תביא לידי יצירת מערך מחקר בארץ בתחום שבוודאי יהפוך למרכזי במרוצת השנים הקרובות.

מחקר המגוון הביולוגי

להלן המלצות הוועדה, בראשות פרופ' תמר דיין, שהוגשו למועצת האקדמיה ב־7 בדצמבר 2010: אוניברסיטאות המחקר בישראל מחויבות להתאים עצמן לצורכי החברה במדע, בהדרכה ובהשכלה הגבוהה. ממצאי הסקר שלנו מראים כי מחקר המגוון הביולוגי בישראל, שמסיבות מדעיות ו חברתיות הוא כיום בעדיפות כלל־עולמית, דורך במקום, והשנים הקרובות הן קריטיות להכשרת אנשי סגל, כיוון שחלק מהתת־תחומים החשובים עומדים על סף הכחדה או מידרדרים אל מתחת למסה קריטית. על כן מצבו של מחקר המגוון הביולוגי בישראל דורש תשומת לב מיוחדת ברמה הלאומית והאוניברסיטאית. אלה הן המלצותינו:

- לאזן מחדש את תחום הביולוגיה באמצעות הגדלה ניכרת של מספר המשרות למחקר המגוון הביולוגי בעשור הקרוב. תחומים הדורשים טיפול מיוחד רשומים לעיל.
- לדאוג ללא דיחוי כי לא יאבדו עוד משרות באוניברסיטאות. המלצה זו חיונית בשל גל הפרישות הגדול בחמש השנים הקרובות.
- לוודא שבמכלול הרחב של תחום המחקר הביולוגי יישמר איזון בין דיסציפלינות, קבוצות טקסונומיות וסביבות. יש לעודד מגוון החיוני לקיומו של מדע בריא ומאוזן שיוכל להתמודד עם האתגרים העומדים בפני המדינה.
- לאחד משאבים ולפתח תכנית בין־אוניברסיטאית ללימודי פאונה ופלורה. מומלץ לעשות זאת מכיוון שכיום מעט מאוד מדענים יכולים ללמד קורסים לזואולוגיה ובוטניקה בסיסית הכוללים הכרת קבוצות ביולוגיות שונות. תכנית וידע בנושא זה הם יסוד חיוני במחקר המגוון הביולוגי.
- לספק מלגות דוקטורט ייעודיות לטקסונומיה וסיסטמטיקה. חיוני לוודא שיהיה אפשר להכשיר את הדור הבא של מדענים בקצב הנדרש.
- לספק מלגות בתר־דוקטורט ייעודיות להכשרה בחו"ל. מדובר בשלב קריטי בבניית דור העתיד של חוקרי המגוון הביולוגי.
- לשריין משרות ספציפיות לטקסונומיה וסיסטמטיקה. מצבו של התחום דורש התערבות אגרסיבית.
- לוודא כי בכל מקום ובכל עת שבהם תחום הביולוגיה מיוצג בוועדות או בגופים שונים יהיה גם מדען העוסק במחקר המגוון הביולוגי כמייצג את נקודת המבט של התחום.

מצב המחקר הביורפואי

נשיא האקדמיה מינה ב־29 באוקטובר 2006 את ועדת ההיגוי בראשותה של פרופ' רות ארנון, אז סגנית נשיא האקדמיה, לבדיקת מצב המחקר הביורפואי בארץ.

הוועדה טיפלה בנפרד, בזה אחר זה, בכל אחד משלושת התחומים שבהם התבקשה לטפל – המחקר הביורפואי הבסיסי, המחקר הביורפואי הקליני והמנשק שבין המחקר הביורפואי לתעשייה – מתוך הבנה שהתחומים משיקים זה לזה. לצורך הדיונים קבעה ועדת ההיגוי הגדרה למחקר ביו־רפואי המבוססת על הגדרתו של ה־NIH: "המחקר הביורפואי מבקש לרכוש ידע חדש שמטרתו להבין, למנוע, לאבחן, לזהות ולרפא מחלות ומוגבלויות ולקדם את בריאות האדם". ממצאי הוועדה מסתמכים על דיוני הוועדה, לרבות מסקנותיהן והמלצותיהן של שלוש ועדות מומחים מחו"ל אשר סקרו את שלושת התחומים הללו.

המחקר הביורפואי הבסיסי, המתנהל ברובו באוניברסיטאות, הוא הבסיס לכל סוגי המחקר הביו־רפואי, ובכלל זה המחקר הקליני והמחקר הביוטכנולוגי. ברוב תחומי הביורפואה ישראל היא בעשר

המדינות המובילות בעולם (על פי מדד הציטוטים). כל זאת בזכות השקעה שנעשתה בעבר. כיום החוקרים הישראלים מתקשים להתחרות עם עמיתיהם בעולם בשל חוסר תקציב, תשתיות מחקר מיושנות (באוניברסיטאות), קבוצות מחקר קטנות מהמקובל במערב וחוסר בבתר־דוקטורנטים.

בתחום המחקר הקליני ישראל נמצאת במצב הרבה פחות טוב, ונדרשים משאבים ניכרים ובעיקר הקצאת "זמן מוגן" למחקר לרופאים בבתי החולים.

בתחום המחקר התרגומי, שנועד בעיקר לפיתוח תרופות, אפשר להצביע על כמה הישגים מרשימים, אולם חוסר משאבים, בייחוד בשלב הוכחת ההיתכנות, מונע פיתוח נרחב שיש בו כדי לשמש מנוף לתעשיית התרופות בארץ.

המלצות הוועדה:

1. להקים קרן לאומית למחקר ביו־רפואי.
2. להוסיף מימון למחקר בסיסי בתחום הביו־רפואה.
3. לפתח את המחקר הביו־רפואי הקליני ולהעצימו במרכזים הרפואיים ולטפח רופאים־חוקרים.
4. לתמוך במחקר אוניברסיטאי המיועד לצורכי פיתוח יישומי בתחומי הביו־רפואה והביוטכנולוגיה.
5. להקים מנגנון לפיתוח כיווני מחקר חדשים בתחום המחקר הביו־רפואי.
6. להסדיר ולמסד זכויות החוקרים על קניין רוחני ורישום פטנטים במרכזים הרפואיים הממשלתיים.

מחקר ההיסטוריה באוניברסיטאות ישראל

דוח צוות ההיגוי לבדיקת המחקר ההיסטורי באוניברסיטאות ישראל, בראשות פרופ' ב"ז קדר, אושר על ידי מועצת האקדמיה ב־13 במרס 2007.

ריכוז מסקנות והמלצות

- בדיקה ניסיונית של אימפקט מחקר ההיסטוריה הישראלי העלתה שהיסטוריונים ישראלים בולטים במישור הבין־לאומי ללא כל יחס לחלקה של ישראל באוכלוסייה העולמית וגם בהשוואה לבני ארצות מפותחות שאוכלוסייתן גדולה מזו של ישראל פי כמה וכמה. עם זאת הבדיקה הניסיונית מעידה על שוני בין האוניברסיטאות מבחינת הבולטות בתת־תחומים שנבדקו.
- כדי לאפשר את המשכה של הבולטות הקיימת, ואת חיזוקה, יש להבטיח שהספריות האוניברסיטאיות תרכושנה את הספרים ואת כתבי העת המקצועיים הדרושים למחקר.
- הישגי היסטוריונים הישראלים מצדיקים הקצאת משאבים שתאפשר הגדלה ניכרת של מספר המוקדים המובילים בקנה מידה עולמי בתת־תחומים שונים של מחקר ההיסטוריה.
- מתכונת לימודי ההיסטוריה באוניברסיטאות ישראל, העומדת על פיצול לימודי ההיסטוריה בין חוגים אחדים וניתוק ההיסטוריה הלאומית ממערך ההיסטוריה הכללית, היא מתכונת חריגה, אולי יחידה במינה בעולם, ויש לה השלכות שליליות על המחקר.
- באוניברסיטאות שונות כמו בתי ספר להיסטוריה שנועדו לתקן מעוות זה בדרכים שונות. ראוי לקיים מעקב רב־שנתי לבדיקת הצלחתן היחסית של דרכים אלה ותרומתן למימוש הפוטנציאל הייחודי לחוקר ההיסטוריה הישראלי.
- שום אוניברסיטה אינה יכולה לכסות, בהוראה או במחקר, את כל הפרקים בכל התקופות ואת כל המרחבים הגאוגרפיים. לפיכך נחוץ תיאום בין־אוניברסיטאי אשר יבטיח את המשך

- התחרות ההדדית בין המוסדות בתחומים המרכזיים של ההיסטוריה ויביא לספציאליזציה מוסדית בתת-תחומים משניים.
- היכרות של תלמיד היסטוריה עם מגוון שיטות, גישות ואסכולות חשובה לעבודתו המחקרית לפחות כמו היכרות עם מגוון פרקים כרונולוגיים ומרחבים גאוגרפיים. על כן יש לחתור להפגשת הסטודנטים בכל אוניברסיטה עם מגוון מיטבי של שיטות, גישות ואסכולות.
 - התיאום הבין-אוניברסיטאי יאפשר לסטודנטים להשתתף בתקופת לימודיהם הסדירים באוניברסיטת-האם בקורסים באוניברסיטה אחרת שינחילו להם ידיעות על פרקים, מרחבים, שיטות ואסכולות שאינם נלמדים באוניברסיטת-האם. באוניברסיטת-האם יש לאפשר לסטודנטים להיסטוריה לשמוע קורסים מחוץ לחוגם; מומלץ לחייבם ללמוד מכסת קורסים בחוגים היסטוריים אחרים.
 - תיאום ושיתוף פעולה בין-אוניברסיטאי יאפשר להשיג חלק מן המטרות האמורות באמצעות ניצול טכנולוגיות מתקדמות, ובראשן קורסים שיוקלטו והיו נגישים לסטודנטים מאוניברסיטאות שונות וקורסים באמצעות שיחות ועידה (video conferences).
 - התיאום הבין-אוניברסיטאי יבטיח שגישות ונושאים שאינם מיוצגים בשום מוסד יפותחו לפחות בחלק מן המוסדות.
 - התיאום הבין-אוניברסיטאי יבטיח מדיניות רכישה יעילה של הספריות האוניברסיטאיות. ספרים וכתבי עת העוסקים בתחומים מרכזיים ירכשו על ידי כל ספרייה, ואילו ספרים וכתבי עת העוסקים בתת-תחומים משניים ירכשו רק על ידי האוניברסיטה המתמחה בתת-תחומים אלה. יש לחתור לרכישה משותפת של מאגרי מידע וכתבי עת אלקטרוניים.
 - מספר עבודות הדוקטור הנכתבות בארץ על נושאים היסטוריים נמצא בעלייה מתמדת, אך שיעורן בכלל עבודות הדוקטור במדעי הרוח, במדעי החברה ובאמנויות שומר על מידה ניכרת של יציבות.
 - התפלגות נושאי עבודות הדוקטור על פי תקופות מעידה על העדפה ברורה של התקופה החדשה (ובכללה המאה העשרים), בניגוד לתכניות הלימודים באוניברסיטאות, השומרות על פיזור בין-תקופתי שוויוני בהרבה.
 - ראוי שסגלי החוגים להיסטוריה ייתנו דעתם על השאלה אם השיעור הנוכחי של עבודות דוקטור על המאה העשרים הנכתבות אצלם אכן רצוי.
 - עבודות הדוקטור העוסקות בארץ ישראל תופסות מקום ראשון בכל האוניברסיטאות לבד מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב, אולם בולטותן של עבודות דוקטור אלו משתנה מאוניברסיטה לאוניברסיטה ומשנה אחת למשנתה.
 - השוואה לאוניברסיטאות בארצות המערב מבחינת שיעור עבודות הדוקטור העוסקות בהיסטוריה של ארצותיהן מעלה שמידת ה"פלסטינו-צנטריות" של מחקר ההיסטוריה בישראל אינה יוצאת דופן.
 - עבודות הדוקטור הישראליות מתייחדות בשיעור גבוה של עיסוק בנושאים פרטיקולריים (כלומר היסטוריה יהודית והיסטוריה של ארץ ישראל) אף כי יש הבדלים גדולים בין האוניברסיטאות מבחינה זאת.
 - דגש רב בנושאים פרטיקולריים טומן בחובו סכנות: אי-הכרת ההקשרים הכלליים והמקבילות החיצוניות; הצטמצמות שיח החוקרים ופרובינציאליזציה של המחקר. ראוי להתמודד עם סכנות אלה באמצעות הוספת ממד השוואתי למחקר הפרטיקולרי - גיבוש שאלות מחקר שתתייחסנה לתחום הפרטיקולרי אך תקשורנה אותו למוקדי דיון מרכזיים. המתכונת שמאפיינת בעשור האחרון את קבוצות המחקר ההיסטורי של המכון ללימודים מתקדמים באוניברסיטה העברית בירושלים יכולה לשמש דוגמה לעניין זה.

- בקרב ההיסטוריונים שמחקריהם זכו למימונה של הקרן הלאומית למדע בשנים תשנ"ה-תשס"ו ניכרת מגמה חלשה יותר לפרטיקולריות ולהתמקדות במאה העשרים לעומת כותבי עבודות הדוקטור. אפשר שלפנינו הבדל בין-דורי. ראוי לבדוק השערה זאת בדרכים נוספות.
- המסקנות העולות מבדיקת התפלגותן של עבודות הדוקטור מחייבות דיון בחוגים להיסטוריה ובבתי הספר להיסטוריה בשאלה אם אמנם יש להסכין עם התכנסותם של בני הדור הצעיר אל נושאים קרובים בזמן, במקום ובתרבות, ואם אין סכנה של מעגל קסמים שבו כותבי עבודות דוקטור על נושאים פרטיקולריים יחתרו, עם התקבעותם באוניברסיטה, להתמקד בהוראת נושאים אלה ויביאו בזה לגידול נוסף בשיעור עבודות הדוקטור הפרטיקולריות בדור הבא.
- יש לשקול את שינוי שיטת המימון של ות"ת, הטומנת בחובה תמריץ שלילי ללימודי שפות במסגרת לימודי התואר השלישי ותמריץ חיובי לבחירת נושא פרטיקולרי לעבודת הדוקטור. על חברי הסגל לדרבן את הסטודנטים בעלי הפוטנציאל המחקרי ללמוד שפות זרות מוקדם ככל האפשר.
- מומלץ שסגל ההיסטוריונים בכל אוניברסיטה יזום הקמתה של ועדת ייעוץ בין-לאומית שתסקור את מצב המחקר מדי כמה שנים ותגבש המלצות לשיפור.
- יש להמשיך במאמצים לקלוט במוסדותינו את טובי ההיסטוריונים הכותבים עבודות דוקטור באוניברסיטאות מובילות מעבר לים. כן ראוי למצוא דרכים לקשור אלינו גם את אלה שיעדיפו להישאר בחו"ל ולשלבם, ולו שילוב חלקי, במערך המחקר וההוראה שלנו.

מדעי הרוח באוניברסיטאות המחקר בישראל

המלצות הפורום לדיון בעתידם של מדעי הרוח באוניברסיטאות המחקר בישראל, בראשות פרופ' ב"ז קדר, אושרו על ידי מועצת האקדמיה הלאומית למדעים ב-14 בנובמבר 2006.

ריכוז ההמלצות

תכנון ותיאום

מצוקה תקציבית והעדר תכנון כלל-ארצי יש בהם כדי להביא לידי היעלמותם של תחומים שלמים. למשל, לימודי אפריקה, שטופחו בעבר הן באוניברסיטה העברית בירושלים והן באוניברסיטת תל-אביב וזכו להערכה בין-לאומית, הולכים ונעלמים, ולכן אפשר שיגיע הרגע שבו למרבה הצער אפריקה, שישראל נמצאת על מפתנה, לא תילמד ולא תיחקר בשום אוניברסיטה ישראלית. אפשר לטעון שאין הכרח שאפריקה תיחקר בכל האוניברסיטאות שלנו, אבל חובה להבטיח שהיא תיחקר לפחות באוניברסיטה אחת. כמו כן חובה להבטיח שסטודנט הלומד באוניברסיטה שאין בה לימודי אפריקה ורוצה להשתתף בקורסים על אפריקה המתקיימים באוניברסיטה אחרת, יוכל לעשות זאת. ככלל, במצב מעין זה חובה לחתור לריכוזה של מסה קריטית באוניברסיטה מסוימת במקום לפזר כוחות דלים בכמה אוניברסיטאות.

תחומים טעוני פיתוח:

קיימים תחומי מחקר חיוניים שבעבר היו האוניברסיטאות הישראליות פעילות בהם ואילו היום הם הולכים ונעלמים. במדעי הרוח מדובר במצבם של לימודי רוסיה ולימודי השפה והספרות הלטינית. אנו סבורים שיש לחתור ללימוד תחומים אלה ולחקרם לפחות באחת האוניברסיטאות.

תחומי מחקר מסוימים אינם קיימים בארץ כלל, וחובה לייסדם. לפיכך יש צורך דחוף להקים גוף בין-אוניברסיטאי שתפקידו העיקריים יהיו אלה:

- לזהות תחומים מוגנים, דהיינו תחומים שחובה ללמדם באוניברסיטה אחת לפחות.
- לזהות תחומים חדשים שאינם נלמדים בשום אוניברסיטה ושחובה ללמדם באוניברסיטה אחת או יותר.

- לתאם בין האוניברסיטאות קיומם של תחומים משניים, דהיינו תחומים שאין הכרח ללמדם בכל האוניברסיטאות.
 - לתאם רכישת ספרים ועיתונים לתחומים המשניים באוניברסיטאות השונות תוך שיפור שירות ההשאלה הבין-ספרייתי.
 - לתאם הקמת יחידות בתחומים משניים דלי כוח אדם אשר תהיינה משותפות לשתי אוניברסיטאות או יותר.
 - לכונן נוהל שיאפשר מינוי משותף של מרצה בשתי אוניברסיטאות כאשר אין הצדקה למינוי במשרה שלמה באוניברסיטה אחת.
 - לאפשר לסטודנטים השתתפות בקורסים באוניברסיטה אחרת בתקופת לימודיהם הסדירים באוניברסיטת-האם (cross-registration).
 - לתאם קורסים המחייבים הבאת מומחה מחו"ל.
 - לתאם קורסי קיץ אינטנסיביים (למשל, בתחום הוראת שפות זרות).
 - לתאם כינוסים בין-לאומיים תוך החלפה שוטפת של מידע.
 - לשתף פעולה בהפקת ספרי לימוד והמשך לימודים.
 - לפעול למען כלילת ישראל בתכנית בולוניה הכלל-אירופית, המאפשרת לסטודנט ללמוד חלק מלימודיו באוניברסיטה מחוץ לארצו.
 - להבטיח שמודל התקצוב של ות"ת יותאם למאפיינים הייחודיים של מדעי הרוח באופן שתגדל התמיכה בסמינריונים לתואר הראשון, ותוכר השקעת הזמן הרב הדרושה להכשרה בתחומים מסוימים של מדעי הרוח. אופני פרסום אופייניים למדעי הרוח (ספרים והוצאות ביקורתיות של טקסטים) יזכו להתחשבות וכן פרסומים בשפות זרות, נוסף על האנגלית.
- ברצוננו להדגיש שבשום פנים ואופן אין הצעות אלו באות לפגוע בדרך כלשהי בחופש האקדמי ובפעולה העצמאית של כל אוניברסיטה, או למנוע תחרות בין האוניברסיטאות. אדרבה, תחרות זו מהותית למערכת. אולם יש להבחין בכל עת בין תחומי ליבה, שיהיו בכל האוניברסיטאות מתוך תחרות (למשל ספרות והיסטוריה), לבין תחומים משניים, שראוי לתאם את קיומם באמצעות מסגרת בין-אוניברסיטאית פדרטיבית וולונטרית. בכל פעולות התכנון והתיאום האמורות יחליטו האוניברסיטאות בעצמן, ללא כל מעורבות חיצונית.

מחקר

- לסמן כמה תחומים ותת-תחומים ולקדם למעמד מוביל בעולם.
- לפתח כלים להערכה כמותית של הישגי המחקר במדעי הרוח.
- להקים קרן לתמיכה במיזמים שמציעיהם יצביעו על סיכויים למחקר ברמה גבוהה ועל פוטנציאל פיתוח איכותי.

הוראה

- לאמץ תכנית לימודים שתנחיל מינונויות ותרחיב את אופקיהם של כלל תלמידי התואר הראשון תוך שמירת המתכונת הקיימת של הלימודים. יש לערוך ניסוי ראשוני של התכנית בהיקף מוגבל.
- לאמוד את מספר חברי הסגל הצעירים שקליטתם הכרחית ולהבטיח שהאוניברסיטאות תקצינה את התקנים הדרושים.
- לעודד תלמידים מצטיינים במיוחד ללמוד מדעי הרוח.
- להקצות מלגות התפנות לתלמידי התואר השלישי כדי להבטיח סיום מהיר יותר של לימודיהם.

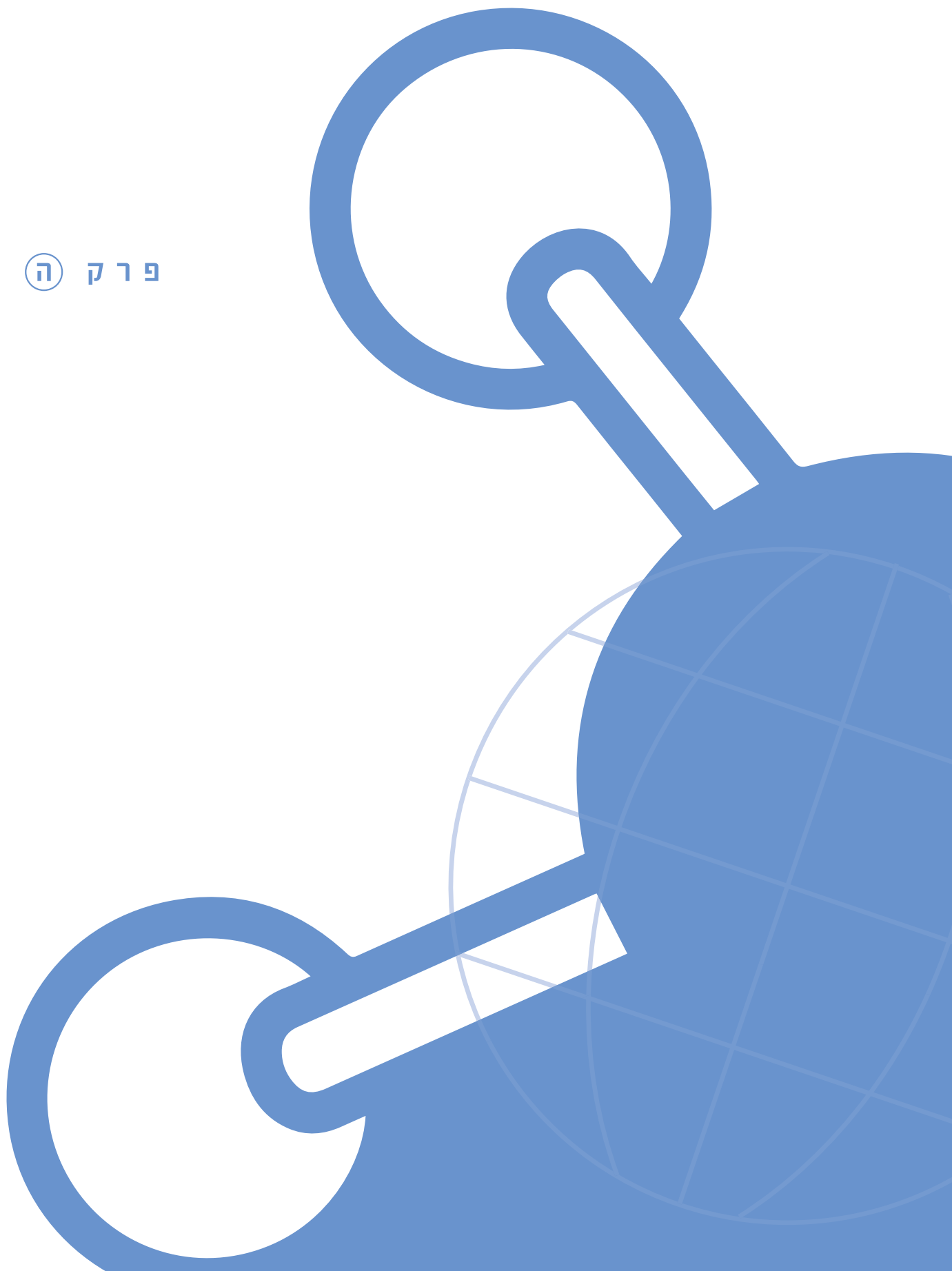
קשר לבתי הספר התיכוניים

- לאתר תלמידי תיכון מצטיינים במדעי הרוח ולהקים בשבילם מסגרות לימוד, תוך עידוד מיוחד ללימוד שפות.
- יש לקשור את מורי התיכון בעלי תואר שלישי במדעי הרוח לפקולטות למדעי הרוח באוניברסיטאות, למשל בשיתופם במחקרים הנערכים בהן.

מדעי הרוח והציבור הרחב

- ליזום פעולות שיביאו לידיעת הציבור את חיוניותם ותרומותיהם של מדעי הרוח, את עבודת המחקר הענפה והתובענית הנעשית בהם ואת הישגיה המרשימים של עבודה זו.

פרק ה



פרק ה: קשרי החוץ המדעיים של ישראל

ראשי פרקים:

- מבוא: המדע ותהליכי הגלובליזציה
- שיתופי פעולה בין־לאומיים
- ישראל והמזרח התיכון
- מפעלים אזוריים

פרק זה סוקר את קשרי החוץ המדעיים של ישראל הבאים לביטוי בשיתופי פעולה בין מדענים במסגרת הסכמים בין אקדמיות ואוניברסיטאות ובהסכמים ממשלתיים.

ישראל שותפה בתשתיות של מדע גדול כמו ב-CERN, מאיץ גדול בז'נווה, וב-ESRF, המתקן לקרינת סינכרוטרון בגרנובל שבצרפת.

פעילות קשרי החוץ באה לביטוי גם במאמץ (עם כל הקושי הפוליטי) לקיים פעילות אזורית.

מבוא: המדע ותהליכי הגלובליזציה

מדע הוא מיזם עולמי. כיום קיימים יותר מ-7 מיליון מדענים ברחבי העולם אשר סך ההוצאה המצרפית הבין-לאומית בגינם למו"פ עולה על 1,000 מיליארד דולר (גידול של 45% מאז 2002) ואשר קוראים ומפרסמים בכ-25,000 כתבי עת מדעיים. המדענים משתפים פעולה אלה עם אלה, מונעים מהרצון לעבוד עם האנשים ובמתקנים הטובים ביותר בעולם, ומכוח סקרנות מחפשים ידע חדש כדי לקדם את התחום שלהם או להתמודד עם בעיות פרטניות.

ידע, רשתות עבודה וסקירות מדינתיות מבוססים על מידע זמין. תבניות המדע משתנות, ובחינה וניתוח של אופי שיתוף הפעולה ומגמותיו נועדו לספק בסיס להבנת שינויים מתמשכים שכאלה. מטרת אלה לזהות את ההזדמנויות לשיתוף פעולה בין-לאומי ואת התועלת שתצמח ממנו, לשקול מהי הדרך הטובה ביותר לממשן וליצור דיון בשאלה כיצד לרתום שיתוף פעולה מדעי בין-לאומי להתמודדות עם בעיות עולמיות ביעילות רבה יותר.

מסינגפור ועד דרום-אפריקה מדענים חדשים וקהילות מחקר חדשות מעצבים מחדש את נוף המדע והחדשנות, שעד כה נשלטו על ידי ארצות הברית ואירופה:

- המדע בשנת 2011 הוא כלל-עולמי יותר ויותר ומתרחש ביותר מקומות מאי פעם. המדע מתמודד עם שאלות בעלות חשיבות כלל-עולמית והוא נתמך על ידי ממשלות, עסקים, פילנתרופים ותרומות.
- יש מדינות שבהן פעילות גוברת והולכת זו בולטת במיוחד בהשקעה ובתוצרים מדעיים שעוקפים את המגמות הכלליות של צמיחה. היה אפשר להבחין במיוחד בעלייתה של סין, שעקפה את יפן ואירופה במונחים של תפוקת הפרסומים שלה בשנים האחרונות. נוסף על סין, התפתחויות מהירות התרחשו גם בהודו, בברזיל ובמדינות מדע מתהוות חדשות במזרח התיכון, דרום-מזרח אסיה וצפון-אפריקה, כמו גם התחזקות של המדינות האירופיות הקטנות יותר.
- עם זאת המדינות המסורתיות עדיין מובילות: מערב-אירופה ויפן משקיעות השקעה ניכרת במחקר, ולזכותן מאמרים מדעיים רבים, כפי שמעידים שיעורי הפטנטים הרשומים ואזכורים מדעיים.

הדפוסים המשתנים של שיתוף הפעולה הבין-לאומי

- מדע בין-לאומי מנוהל בחלקו באמצעות קשרי מטה-מעלה, לא פורמליים, ככל שמדענים נעשים ניידים יותר וככל שמידע מורכב מופץ יותר, ולעתים קרובות יותר – בלחיצת כפתור. אולם גם שיטת מעלה-מטה, יזמות שטיבן מתן פתרונות, עוזרת לעצב את נוף המחקר בעת שמדענים מתארגנים בעצמם, או שמארגנים אותם, להתמודד עם דאגות משותפות. בהקשר זה ראוי לציין את גשוגו של המדע. ההכרה בתפקיד שהמדע יכול לשחק בהנעת התפתחות כלכלית ובהתמודדות עם סוגיות מקומיות וכלל-עולמיות מהותיות הובילה לפעילות מחקרית מוגברת.

- העולם המדעי הופך יותר ויותר מקושר בתוך עצמו, ושיתוף הפעולה הבין-לאומי במגמת עלייה. כיום יותר מ-35% מן המאמרים שפורסמו בכתבי עת בין-לאומיים מבוססים על שיתוף פעולה בין-לאומי, עלייה של 25% לעומת התקופה שלפני 15 שנה.
- שיתוף הפעולה מתרחב הודות למגוון סיבות: התפתחויות בטכנולוגיות התקשורת המאפשרות למדענים ממקומות שונים לעבוד יחד; פרסום רוב המאמרים המדעיים באינטרנט המנגיש אותם מיידית לכל העולם; מכונות החיפוש המתוחכמות שמאפשרות חיפוש ידע בנגיעת אצבע מבלי הצורך לחפש חומר על מדפי ספריות – כל אלה מקלים, יותר מאי פעם, על מדענים לעבוד יחד. בשל היקפן של שאלות המחקר ובשל הציוד הנדרש למחקר על מדענים להיות ניידים ובעלי יכולת לתת מענה. שיתוף פעולה מגדיל את איכות המחקר המדעי, משפר את יעילותו של אותו מחקר ואת השפעתו, והוא נעשה חיוני יותר ויותר בשל גידול בטווח התקציבים והתגברות אתגרי המחקר.
- מכל מקום, הדחיפה העיקרית ליצירת רוב שיתופי הפעולה באה מן המדענים עצמם. בפיתוח המחקר שלהם ובמציאת תשובות מדענים מבקשים לעבוד עם האנשים, המוסדות והציוד הטובים ביותר שמשלימים את המחקר שלהם – לא משנה היכן הם נמצאים.
- הקשרים של אנשים, באמצעות ערוצים רשמיים ולא רשמיים, קהילות מפוזרות, רשתות עבודה וירטואליות כלל-עולמיות וקהילות מקצועיות בעלות אינטרסים משותפים – כל אלה מנועים חשובים לשיתוף פעולה בין-לאומי. רשתות עבודה אלה חובקות עולם. הן מונעות על ידי חילופי מטה-מעלה של תובנות מדעיות, ידע ומיומנויות, והן משנות את מיקוד המדע מן הרמה הלאומית לרמה כלל-עולמית. עם זאת קיימת אך הבנה מועטה בדינמיקות של רשתות העבודה והניידות של מדענים, כיצד אלה משפיעים על המדע הכלל-עולמי, וכיצד אפשר לרתום את אותן רשתות עבודה בדרך הטובה ביותר כדי להאיץ את שיתוף הפעולה הבין-לאומי.
- שיתוף פעולה מביא עמו רווח ניכר, הן כזה הניתן למדידה (כגון השפעה גדולה יותר לאזכורים ולגישה לשווקים חדשים) והן כזה שקשה למדדו (כגון הרחבת אופקיו של מחקר). לתרומתו של שיתוף הפעולה יש אפוא השפעה חיובית לא רק על המדע המתנהל אלא גם על המטרות הרחבות יותר של כל מערכת מדע (בין שזו הגברת הצמיחה המקומית ובין שזו התמודדות עם אתגרים פרטניים).
- הקהילה המדעית הכלל-עולמית מונעת יותר ויותר מהצורך למצוא פתרונות למגוון סוגיות שיש בהן איום מהותי. "אתגרים כלל-עולמיים" אלה זכו לתשומת לב רבה בשנים האחרונות, והם כיום מרכיב מפתח באסטרטגיות המדע הלאומי והבין-לאומי ובמנגנוני מימון רבים. האתגרים הכלל-עולמיים תלויים אלה באלה ויש ביניהם יחסי גומלין. עם האתגרים האלה נמנים שינוי אקלים, דלדול מקורות מי השתייה, אבטחת הספקת המזון לאוכלוסייה הגדלה, אבטחת אנרגייה, שינויים בקרב האוכלוסייה והיעלמותם של צמחים ובעלי חיים בסביבתם הטבעית. הדינמיקה בין סוגיות אלה מורכבת, אולם הערכות כלל-עולמיות ותכניות מחקר רבות מתנהלות בכל אחת מהסוגיות בנפרד, והדבר משקף לעתים קרובות העדר תיאום בתחום המדיניות. על ממשלות, על החברה האזרחית ועל המגזר הפרטי לאמץ הסתכלות רחבה יותר על אתגרים כלל-עולמיים כדי להבין את ההדדיות שביניהם.

שיתופי פעולה בין-לאומיים

שיתופי פעולה בין-לאומיים לובשים צורות שונות, ואפשר למינם לשיתופי פעולה בין מדענים, שיתופי פעולה מוסדיים (מדינות, אקדמיות, קרנות אוניברסיטאיות וכד') ומדע גדול – שיתוף במתקני מדע גדולים.

קשרים ישירים בין מדענים ממדינות שונות

פעילות זו בין מדענים בודדים או קבוצות מדענים המוצאים עניין משותף ומשתפים פעולה היא המסלול העיקרי בקשרי המדע הבין-לאומיים, במיוחד בקרב מדענים ממדינות קטנות.

ממחקר שביצע מוסד שמואל נאמן, בהזמנת המולמו"פ, עולה:⁴⁴

” בין השנים 1981–2008:

- 34% מהפרסומים הישראליים הינם פרסומים שנערכו בשיתוף פעולה בין חוקרים מישראל לחוקרים ממדינות אחרות.
- חלקן של ארה"ב וקנדה בכלל הפרסומים המשותפים של ישראל נמצא במגמת ירידה וחלקן של מדינות אירופה בפרסומים המשותפים נמצא במגמת עליה.
- בשנים האחרונות ניכר גידול במספר הפרסומים המשותפים הן עם ארה"ב וקנדה והן עם מדינות אירופה.
- 21% מהפרסומים הישראליים נעשים עם חוקרים בעלי כתובת בארה"ב. גרמניה היא המדינה השנייה בכמות הפרסומים המשותפים עם ישראל, ולאחריה צרפת, אנגליה וקנדה.
- 65% מהפרסומים בשטח מדעי החלל הם פרסומים משותפים עם מדינות אחרות. בשטחים מתמטיקה, כלכלה ועסקים ופיסיקה כמחצית הפרסומים הישראליים הם פרסומים משותפים עם חוקרים ממדינות זרות.
- בשטחי מדעי הרוח והחברה ומדעי הרפואה הקלינית מרבית הפרסומים הישראליים נעשו ללא שיתוף פעולה עם עמיתים בחו"ל.
- פרסום משותף, של מחבר מישראל ומחבר ממדינה נוספת, זוכה במוצע למספר ציטוטים כפול מפרסום ישראלי שנעשה ללא שותפים מחו"ל.
- במגזר בתי החולים שיתוף הפעולה עם מדינות אחרות הוא הנמוך ביותר (18%).”

נוף שיתופי הפעולה בתחומי המחקר והפיתוח של ישראל משתנה. עד לאחרונה היה שיתוף הפעולה עם ארצות הברית הנרחב והבולט מכולם. שיתוף הפעולה כלל גם את מימון המחקר המדעי. לאחרונה נכנסו דרך תכניות המחקר גופים נוספים, ובעיקר האיחוד האירופי, לשיתוף פעולה עם ישראל, והנוף משתנה לאט ובהתמדה. יש עדויות להקטנת מימון המחקר המדעי המשותף לארצות הברית ולישראל, ואילו חלקה של אירופה הולך וגדל ובקרוב ישתווה לזה של ארצות הברית.

חלק מההסבר נובע מירידת משקלה של ארצות הברית בהוצאה העולמית למימון מחקר מדעי, מ-35.6% ב-1991 ל-30.4% ב-2005. אפשר שמכאן מושפע גם חלקה בשיתופי פעולה, ובהם שיתופי פעולה עם ישראל.

קשרי מדע בין-לאומיים ממלכתיים ומוסדיים

בעבודה ממצה וסוקרת שעשתה הוועדה לקשרי חוץ מדעיים של המולמו"פ, בראשותה של פרופ' מינה טייכר מאוניברסיטת בר-אילן, על מיפוי קשרי המו"פ הבין-לאומיים עולה כי למדינת ישראל

44 ציטוט מתוך "תפוקות מו"פ", מוסד שמואל נאמן, אפריל 2011.

קשרים בתחומים ממלכתיים ומוסדיים רחבים:

OECD – הוועדה למדע וטכנולוגיה (CSTP – Committee for Science and Technology).

אונסקו – ריכוז הפעולות נעשה על ידי יחידת הקשר הממונת במשרד החוץ.

תכניות המו"פ של האיחוד האירופי על פי הסכם שנחתם ב־2007 עם הנציבות האירופית (פירוט בהמשך).

תכניות אירופיות בין־ממשלתיות כמו רשתות:

EUREKA-Eurostars;

ERA-Net Ambient Assisted Living (AAL);

Euro-Mediterranean Partnership (EUROMED);

European Cooperation in Science and Technology (COST);

The European Strategy Forum on Research Infrastructure (ESFRI)

וכן המעבדה האירופית לביולוגיה מולקולרית (EMBL), והוועדה האירופית לביולוגיה מולקולרית (EMBC).

שיתופי פעולה דו־צדדיים ברמה הממלכתית

במשך השנים חתמו ממשלות ישראל, באמצעות משרד המדע, על שיתופי פעולה מחקריים. שיתופי פעולה אלה לבשו צורות שונות והיו בהיקפי מימון שונים.

כיום למדינת ישראל הסכמים (ממשלתיים) עם כמה מדינות כמו אוקראינה, בריטניה, ארמניה, הודו, טיוואן, יפן, סין, סלובניה, צרפת, דרום־קוראה, קרואטיה ורוסיה (קיימים כמה הסכמים לא פעילים).

סוכנות החלל הישראלית מקיימת שיתופי פעולה עם CNES בצרפת ועם NASA בארצות הברית.

מדע גדול

ESRF

ה־ESRF הוא מתקן סינכרוטרון בן הדור השלישי, מאיץ אלקטרונים מעגלי בהיקף של יותר מ־800 מטר המייצר אלומות קרינת־X בעלות עצמה גבוהה ביותר לצורכי מחקר. זהו המתקן המוביל מסוגו בעולם. לאחר עבודת הכנה מקיפה והמלצה חד־משמעית של ועדת הערכה בין־לאומית רמת דרג הצטרפה ישראל ל־ESRF ב־1999 כמשקיפה לתקופה של חמש שנים, ברמת תשלום של 1% מהתקציב. רמה זו מאפשרת שימוש לחוקרי ישראל במתקן והשתתפות בוועדותיו. לאחר מכן נחתמו חוזה המשך, והחוזה הנוכחי עומד לפוג בשנת 2013. בשל האמור להלן חיוני ביותר להמשיכו לשנים הבאות.

מימון החברות ב־ESRF מאז ההצטרפות ועד היום נעשה על ידי פורום תל"מ⁴⁵ מרבית התשלום ניתנה על ידי ות"ת, והיתרה על ידי משרדי האוצר והמדע.

למעלה מ־40 קבוצות מחקר משתמשות במתקן – רובן המכריע מאוניברסיטאות המחקר ומיעוטן ממכוני, מכללות ואף מהתעשייה. הקבוצות מייצגות מגוון רחב של תחומים – מפיזיקה, כימיה והנדסה לסוגיה, דרך מדעי החיים והרפואה ועד למדעי הסביבה והארקאולוגיה. ה־ESRF משמש כלי מחקר עיקרי בלא חלופה ליותר ממחצית הקבוצות האלה, ובמיוחד לקבוצות החוקרים הישראליות החזקות בתחומי קריסטלוגרפיה של חלבונים, ביוטכנולוגיה ומדע הננו.

⁴⁵ הסבר על תל"מ ניתן בפרק ו.

כ-300 חוקרים מישראל השתמשו ב-ESRF למחקריהם, ובהם תלמידי מחקר ובת-רדוקטורנטים. ה-ESRF משמש אפוא כלי חשוב גם בהכנות דור העתיד של חוקרי ישראל. מלבד זאת השתתפות חוקרים מישראל ב-ESRF היא הזדמנות מצוינת לחשיפתם ולחשיפת מחקריהם לעמיתיהם ברמה העולמית.

הישגי המדענים הישראלים ב-ESRF הם יוצאי דופן בכל קנה מידה. ישראל נמצאת בעקבות בשלוש-ארבע המדינות המובילות מדעית ב-ESRF בחלקה היחסי במספר המחקרים המשותפים והפרסומים שנבעו מהם, באיכותם ובהיקף הזכייה לאחר שיפוט. באחד משני פרסי הנובל שניתנו לחוקרים שהשתמשו במתקן ה-ESRF, זכתה פרופ' עדה יונת (בשנת 2009). פרופ' יונת עושה ועשתה חלק גדול מעבודתה המדעית במתקן זה. במדד ההצלחה החשוב ביותר להנהלת ה-ESRF, הנקרא מקדם ההחזר, ישראל היא בקו עלייה מתמיד והגיעה השנה למוצע תלת-שנתי של 1.55, שהוא הגבוה מכל המדדים הללו שהשיגו מדינות אחרות בחומש האחרון.

הקצאת זמני השימוש ב-ESRF נעשית על בסיס תחרות, על פי שיפוט מדעי של הצעות מחקר, אך מובאת בחשבון גם רמת התרומה לתקציב. אף על פי שהשתתפות ישראל היא ברמה של 1% (ועל כן זמני המדינה שהוקצו בעבר היו גם הם קרובים לערך זה), המחקר הישראלי הניב 1.9%-2.2% מכלל המאמרים המדעיים של משתמשי ESRF בתקופה שבין השנים 2000 ו-2006.

נתונים אלו מצביעים על מצוינות מדעית עקיבה של החוקרים הישראלים ב-ESRF אף בהשוואה למדינות המובילות האחרות כגון אנגליה, צרפת, גרמניה ושווייץ. כמו כן המדדים מורים על גידול שיטתי רב-שנתי נכבד בשימוש ב-ESRF בקהילה המדעית בארץ. ואלה יחד מצביעים לא רק על החשיבות העליונה שיש לשמירת הקיים אלא אף על הצורך האקוטי בהרחבת השתתפות ישראל ב-ESRF.

פעילות אינטנסיבית ופורר זו של הקהילה הישראלית הביאה עמה עלייה ניכרת במספר החוקרים הישראלים המשתמשים במתקני סינכרוטרון בכלל וב-ESRF בפרט - מכ-20 קבוצות בסוף שנות התשעים ועד ליותר מ-50 קבוצות היום.

לבסוף חשוב לציין כי ישראל היא החברה הלא-אירופית היחידה שהתקבלה ל-ESRF, והיא חברה רצויה ומוערכת בו. קולה נשמע, ומייחסים לדעתה המדעית משקל וחשיבות. גם מבחינה זו המשך חברותה של ישראל ב-ESRF חשוב מאוד.

CERN

בשנת 1990 חתמה ישראל על הסכם הצטרפות ל-CERN במעמד משקיף. בשנים האחרונות נבנה ב-CERN המאיץ LHC (Large Hadron Collider). ב-2008 נעשתה הרצת מבחן והיא עברה בהצלחה. שותפות ישראל ב-LHC באה לביטוי במסגרת תאגיד הגלאי הענק אטלס (ATLAS), ותרומתה הייחודית היא בניית גלאים בשבילו. הגלאים פותחו ונבנו במעבדות במכון ויצמן למדע. קודם העברתם ל-CERN נבדקו במעבדות אוניברסיטת תל-אביב והטכניון. ב-2008 הורכבה השלמת הגלאי TGC (Thin Gap Chamber), שהוא חלק מגלאי הענק אטלס.

ישראל הגישה בקשה רשמית לחברות מלאה ב-CERN. בשנת 2011 עברה ישראל למעמד של חברה נלווה בדרך לחברות מלאה.

השתתפות ישראל ב-CERN מושתתת בראש ובראשונה על הצטיינותה המדעית ועל הקשר המדעי שלה לקהילה המדעית בתחומי הפיזיקה של אנרגיות גבוהות.

האקדמיה למדעים ממנה מעת לעת ועדה לאומית ובין-לאומית לבדיקת תחום מדעי. לאחרונה (מאי 2011) ביקרה בישראל ועדה בין-לאומית בת חמישה חברים שסקרה את תרומתה של הקבוצה הישראלית המשתתפת ב-CERN והעריכה אותה. דוח הוועדה נמסר לנשיאת האקדמיה.

הצטיינותה המדעית של ישראל בולטת, והדוח הנוכחי מציין כי הישגיה של הקבוצה הישראלית עולים על הערכות סקירתה של הוועדה הקודמת. הקבוצה הישראלית עוסקת בתחומים קריטיים וייחודיים להמשך הפעלתו של המתקן החדש ב־CERN. ה־TGC הופעל בהצלחה רבה ומילא תפקיד מרכזי בהפעלת האטלס. 3 מבין 16 ה־co-conveners הם ישראלים. במיזם מספר גדול של בתר־דוקטורנטים ודוקטורנטים ישראלים.

מיזם ה־TGC קידם את הישגיה של הקבוצה הישראלית ביסוד תשתיות מחקר שהן חוד החנית בתחום ה־Detector development construction and test. כמו כן נוצרו בזכותו קשרי תעשייה בתחום ההיי־טק ונחתמו חוזים עם התעשייה הישראלית בהיקף של 15 מיליון דולר.

הצטיינות יוצאת דופן זו מצביעה על הצורך של הקהילה הבין־לאומית בהשתתפות הצוות הישראלי ובתרומתו הבולטת והייחודית.

השתתפות ישראל בתכניות המו"פ של האיחוד האירופי

ב־1996 הצטרפה ישראל כחברה נלווית לתכנית הרביעית (FP4), ומאז היא חברה בכל התכניות שבאו לאחר מכן. התכנית השביעית החלה ב־2007.

במסגרת החוזה משלמת ישראל דמי השתתפות קבועים מראש, ובתמורה יכולים חוקרים ישראלים להשתתף בכל הקולות הקוראים ולזכות במענקים תחרותיים כמו כל מדען אחר ממדינות החברות באיחוד האירופי.

נכון לסוף דצמבר 2012 הועברו כ־407.9 מיליון אירו לתקציב האירופי, ואילו ההחזר על מענקי מחקר שקיבלו גופים ישראלים מגיע לכ־636 מיליון אירו (!) – מזה 430.6 מיליון אירו לאוניברסיטאות ו־152.5 מיליון אירו לתעשייה.

השתתפות זו חשובה ולא רק משום ההחזר הכספי שהוא ברור וניתן לכימות, אלא גם משום שנוצרו בעקבותיה רשתות מדעיות וטכנולוגיות בעלות ערך מוסף גבוה, שלמדענים ישראלים חלק נכבד בהן.

שיתוף פעולה עם ה־ERC (European Research Council)

הצלחותיהם של מדענים מישראל בקבלת מענקי מחקר מהקרן האירופית למדע מרשימות ביותר. מענקי המחקר בקרן זו מוענקים אך ורק על בסיס הצטיינות מדעית וללא קשר לחלקה של ישראל בתקציב. כמה דוגמאות מראות הצטיינות זו והן מוצגות בטבלאות שלמטה.

ברמה המוסדית האוניברסיטה העברית בירושלים, מכון ויצמן למדע והטכניון מופיעים בין הראשונים בכלל המוסדות האירופיים. ברמה הארצית ישראל מופיעה שנייה באחוזי ההצלחה.

לוח ה1: אוניברסיטאות ומכוני מחקר זוכים שבהם לפחות 25 חוקרים ראשיים במחקרים שזכו למימון מ-ERC בשנים 2007 עד 2012, לפי מסלול המימון

Host Institution (HI)	County of HI	Starting ⁴⁷ Grants	Advanced ⁴⁶ Grants	Total
National Centre for Scientific Research (CNRS)	FR	121	56	177
University of Cambridge	UK	55	40	95
Max Planck Society	DE	55	37	92
University of Oxford	UK	47	42	89
University College London	UK	42	27	69
Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL)	CH	38	30	68
Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETH Zurich)	CH	22	41	63
Hebrew University of Jerusalem	IL	33	24	57
Weizmann Institute	IL	31	21	52
Imperial College	UK	28	23	51
National Institute of Health and Medical Research (INSERM)	FR	28	13	41
French Alternative Energies and Atomic Energy Commission	FR	30	7	37
University of Leuven	BE	25	10	35
University of Edinburgh	UK	17	15	32
University of Munich	DE	11	21	32
Spanish National Research Council (CSIC)	ES	19	11	30
University of Bristol	UK	13	17	30
Leiden University	NL	15	14	29
National Institute for Research in Computer Science and Automatic Control (INRIA)	FR	17	12	29
University of Amsterdam	NL	15	14	29
University of Helsinki	FI	16	12	28
Technion - Israel Institute of Technology	IL	21	6	27
University of Copenhagen	DK	15	11	26
Karolinska Institute	SE	15	10	25
Radboud University Nijmegen	NL	17	8	25
University of Zurich	CH	12	13	25

(*) Basis: ERC calls 2007-2012, organisations that signed/were invited to sign the first grant agreement. Data as of January 2013.

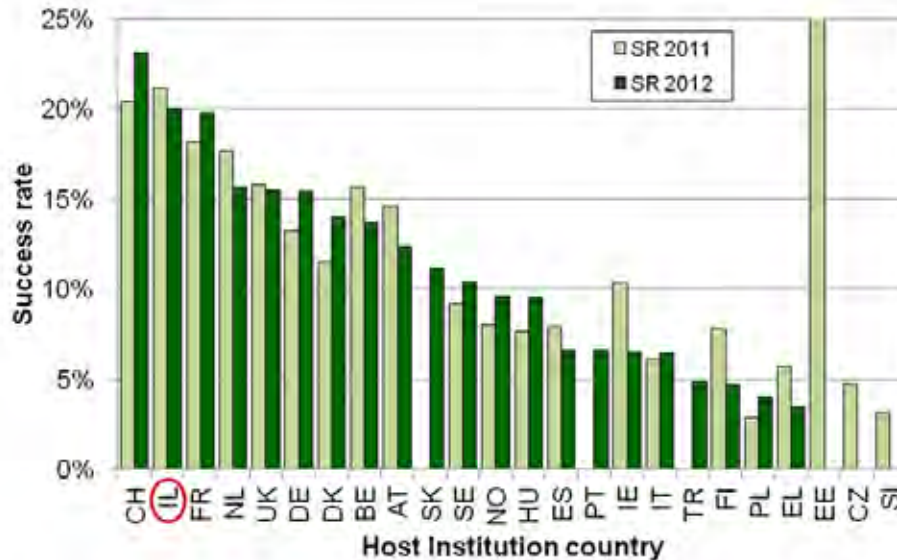
46 מענקים המיועדים למחקרים שבהם החוקר הראשי הוא חוקר מבוסס בעל הישגים חשובים במחקר וניסיון עשיר בהנהגת קבוצת חוקרים.

47 מענקים המיועדים למחקרים שבהם החוקר הראשי הוא חוקר מבטיח בראשית דרכו ובעל ניסיון מחקרי של שנתיים-שבע שנים לאחר התואר השלישי.

איור 11: שיעורי הצלחה בקבלת מענקים בתכנית לחוקרים בראשית דרכם (STG) בשנים 2011 ו-2012, לפי מדינות⁴⁸

STG 2011-2012

Success rates by host institution country



קרנות דו־לאומיות

הקרן הדו־לאומית ישראל-ארצות-הברית (BSF)

הקרן נוסדה בשנת 1972 על ידי ישראל וארצות הברית כדי לקדם נושאים בתחומי המדע והטכנולוגיה שלשתי המדינות יש עניין בהם, ולסייע לשיתוף הפעולה ביניהן בתחומים אלה. שיתוף הפעולה בא לידי ביטוי בתכניות מחקר ובמחקרים משותפים. ישראל וארצות הברית הקימו לצורך זה קרן שמורה שפּרוֹתיה משמשים למימון פעולות שונות של הקרן הדו־לאומית, כגון מתן מענקי מחקר לשלוש שנים, ארגון סדנאות מחקר ותפעול שוטף. בשנים הראשונות תמכה הקרן במחקרים בתחום מדעי החיים ובמדעי הטבע בלבד, ולאחר מכן נוספו תחומי תמיכה חדשים במדעי החברה וההתנהגות. ב־2012 היה היקף תקציבה של הקרן 15.0 מיליון דולר.

קרן גרמניה-ישראל למחקר ולפיתוח מדעי (GIF)

הקרן נוסדה ביולי 1986. שרי המדע של גרמניה וישראל חתמו על הסכם הקמתה, והכנסת והבונדסטאג הכירו בה כגוף סטטוטורי עצמאי. הקרן קמה כדי לקדם את קשרי המדע והטכנולוגיה בין שתי המדינות מתוך הכרה ששיתוף פעולה מדעי יחזק את קשרי הידידות וההבנה בין שתי המדינות ויקדם את המו"פ לתועלתן.

הקרן תומכת במחקר בסיסי ובמחקר יישומי למטרות שלום בגרמניה ובישראל. מחקרים אלה ממומנים מפרוֹתיה של קרן שמורה. מועצת המנהלים, בתיאום עם ממשלות המדינות, קובעת את נושאי המחקר שיזכו לתמיכה. הקרן גם מכנסת כינוסים בנושאים מוגדרים.

היקף פעילותה מסתכם בכ־12 מיליון דולר בשנה.

48 המקור: מצגת של ERC שהציגה נציגת ERC בכינוס שהתקיים בירושלים בדצמבר 2012.

קרן דו-לאומית למו"פ חקלאי ארצות-הברית-ישראל (BARD)

הקרן נוסדה בשנת 1975 על ידי ממשלות ישראל וארצות הברית לקדם מחקר בסיסי ויישומי משותף בתחום החקלאות לתועלת שתי המדינות. פעילות זו ממומנת מפרותיה של קרן שמורה, שהוקמה בכספי שתי המדינות שווה בשווה. מענקי הקרן הם נדיבים, והם כוללים גם תמיכה בבתרדוקטורנטים ובכינוסים מדעיים.

היקף הפעילות השנתי של הקרן ב-2012 מסתכם ב-8.0 מיליון דולר.

ישראל והמזרח התיכון

ממצאי מחקר השוואתי על התפתחות המחקר המדעי והטכנולוגי בישראל ובמדינות המזרח התיכון על פי מדדים כמותיים שפרסם מוסד נאמן למחקר מדיניות לאומית בטכניון ביולי 2011, מצביעים על התפתחויות מרשימות בהיבטים של מדיניות מחקר, השקעות במחקר ותפוקות מחקר במדינות המוסלמיות במזרח התיכון. התהליך חל בעיקר בחמש מדינות (תורכיה, איראן, מצרים, ערב הסעודית וירדן). הנתונים מצביעים על אלה:

- התקדמות רבה ומהירה של איראן ותורכיה בתחומים רבים, יחסית להתקדמות מתונה (ולעתים אף נסיגה) של ישראל בתחומים אלה.
- ישראל מובילה במרבית התחומים שנבחנו, אולם איראן ותורכיה כבר השיגו את ישראל בכמה תחומים במספר הפרסומים, ובתחומים מועטים אף בממוצע הציטוטים לפרסום.

הסכמים בין האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים לבין אקדמיות וארגוני מדע בין-לאומיים

לאקדמיה הלאומית למדעים הסכמים עם 35 מוסדות באירופה, באמריקה, במרכז אסיה, בתת-היבשת ההודית ובמזרח הרחוק, והיא חברה במספר רב של ארגונים בין-לאומיים חשובים. הקשרים הבין-לאומיים של האקדמיה באים לידי ביטוי בחילופי חוקרים במסגרת ההסכמים, בקיום סדנאות, בפעילות מדעית אזורית ובייצוג הקהילה המדעית בארגוני מדע בין-לאומיים. ארגוני הגג המדעיים כוללים ארגונים בין-לאומיים חשובים (ICSU), המועצה הבין-לאומית למדע והקרן האירופית למדע – ESF. האקדמיה חברה ב-IAP, ארגון הגג העולמי של האקדמיות, ובארגוני גג של אקדמיות שונות באירופה.

הנה דוגמאות מרכזיות משיתופי הפעולה:

ארצות הברית:

בשל מגמת התמעטות הקשרים המדעיים בין ישראל לארצות הברית נעשה מאמץ מצד ארגון הגג של האקדמיות האמריקאיות והישראלית לפתוח בתכנית חדשה לעידוד קשרים בין מדענים צעירים ומצטיינים משתי האקדמיות במסגרת תכנית הפועלת זה שנים בארצות הברית – Kavli – Frontiers of Science.

אנגליה:

השגריר הבריטי בישראל פועל למען שיתוף פעולה שיתבטא בתכניות משותפות בתחומי מדעי החיים. כמו כן נעשה מאמץ לקידום הקשרים במדעי הרוח בין האקדמיה שלנו לבין האקדמיה הבריטית.

גרמניה:

קיימת פעילות ענפה בכמה צירים: ההסכם לשיתוף פעולה מדעי בין האקדמיה שלנו לבין האקדמיה של ברלין-ברנדברג. כמו כן קיים הסכם לשיתוף פעולה מדעי עם ה-DFG ועם קרן פון הומבולדט בסדרה של כינוסי מדע למדענים צעירים מצטיינים מתחום מדעי הרוח והחברה.

המזרח הרחוק:

קיימים הסכמים עם מדינות מרכזיות במזרח הרחוק. לאחרונה נעשה מאמץ מחודש להרחיב ולהפעיל את ההסכמים עם הודו, טיוואן, דרום-קוראה ובעיקר סין, הן בסדנאות משותפות והן באמצעות מדענים בולטים בודדים וראשי המערכות המדעיות.

מפעלים אזוריים

נשיאי האקדמיות ומועצות המדע של אזור המזרח התיכון

בשנת 1994 נוסד בווינגטון איגוד נשיאי האקדמיות ומועצות המדע של אזור המזרח התיכון בהשתתפות ירדן, הרשות הפלסטינית, מצרים וישראל ובחסות האקדמיות הלאומיות של ארצות הברית. האיגוד החליט לקיים פגישות סדירות באזור וכן מחקרים, סדנאות ופעולות משותפות. פעילות ענפה זו, המפורטת בדוח האקדמיה, נפסקה בשל השינויים במזרח התיכון, ומצדנו תהיה נכונות להמשיכה.

פרופ' יוחנן פרידמן ייצג את האקדמיה בהרצאתו בכינוס המועצה הכללית של רשת האקדמיות באזור הים התיכון ואירופה (EMAN), אשר התקיים בחודש יוני 2011 במרוקו. הרשת קוראת לאקדמיות למדע של כל המדינות השוכנות לחופי הים התיכון לשתף פעולה למען פיתוח מדע איכותי.

המרכז האקדמי הישראלי בקהיר

המרכז האקדמי הישראלי בקהיר הוקם בשנת 1982 על ידי האקדמיה ביזמת המוסדות להשכלה גבוהה והחברה המזרחית הישראלית. המרכז הוקם בעקבות הסכם התרבות בין ישראל למצרים ממרס 1979. גם כאן הייתה פעילות מסודרת של ביקורים הדדיים של חוקרים, אנשי רוח וסטודנטים ישראלים ומצרים, עד לשינויים שעברה מצרים. בימים אלה מפעילים את המרכז עובדיו המצרים, ומנהל המרכז מבקר במצרים מעת לעת, כשהמצב המדיני מאפשר זאת.

פרק 1



פרק ו: כיווני פיתוח של מערכת ההשכלה הגבוהה והמחקר המדעי

ראשי פרקים:

- התכנית הרב־שנתית של ות"ת
- תשתיות המחקר
- הקרן הלאומית למדע
- הפורום לתשתיות לאומיות למחקר ולפיתוח (תל"מ)
- ננוטכנולוגיה בישראל 2011
- התפתחויות במדע ובטכנולוגיה במאה העשרים
- אופקים חדשים של המדע במאה העשרים ואחת

הפרק סוקר את כיווני הפיתוח של מערכת ההשכלה הגבוהה והמחקר המדעי תוך התייחסות לאלה: התכנית הרב־שנתית של ות"ת, הקמת מרכזי מצוינות, תכניות וחסרים בתחומי התשתיות ופעילות תל"מ.

כיווני פיתוח במערכת ההשכלה הגבוהה ובמחקר המדעי מונעים בעיקר מסקרנותו של החוקר, מחידושים במדע, מסביבת המחקר ומקשרי מדע עם חוקרים בתחום. כיוונים אלה בדרך כלל אינם ניתנים לחיזוי. תפקידם של המוסדות הפעילים במערכת כמו המל"ג, הות"ת, האוניברסיטאות, הקרן הלאומית למדע והאקדמיה למדעים הוא לאפשר פעילות זו. בפרק זה נסקור בקצרה את פעילותם של המוסדות והמסגרות הקיימים.

התכנית הרב־שנתית של ות"ת

מטרות התכנית הרב־שנתית של ות"ת הן אלה:

עידוד המצוינות המדעית המחקרית, שיפור באיכות ההוראה וההון האנושי הנרכש והגדלת הנגישות לחרדים ולמיעוטים.

הכלים לביצוע המטרות הללו הם גיוס סגל צעיר, שדרוג תשתיות הוראה ומחקר, הכפלת ההשקעה בקרנות מחקר תחרותיות, הקמת מרכזי מצוינות, הגדלת נגישותם ורפורמה במודל התקצוב ברוח המטרות שזכרו.

התכנית הרב־שנתית לשנים תשע"א–תשע"ו, אשר סוכמה בין הות"ת ובין האוצר, באה אחרי תקופה קשה שעברה על מערכת ההשכלה הגבוהה בעשר השנים שקדמו לה.

משנות התשעים גדל מספר המוסדות פי ארבעה – משבע אוניברסיטאות מחקר וקומץ מכללות לסך של 67 מוסדות, כולל מכללות להוראה ומכללות לא מתוקצבות – ושיעור המתחילים ללמוד לתואר ראשון במוסדות להשכלה גבוהה גדל מ־25% מקבוצת הגיל הרלוונטית ל־48%. הגידול הכמותי המואץ בסטודנטים בא על רקע תקציבים הולכים וקטנים לאוניברסיטאות מתחילת שנות ה־2000, תקציבים שאף קטנו אבסולוטית. על פני תקופה זו סבלו האוניברסיטאות מתהליך מתמשך של שחיקה ופגיעה באיכות. לדוגמה, מספר אנשי הסגל הבכיר בשתי האוניברסיטאות הגדולות בישראל – האוניברסיטה העברית בירושלים ואוניברסיטת תל־אביב – הצטמצם אבסולוטית מ־1,300–1,400 בסוף המאה הקודמת לפחות מ־1,000 חברי סגל בכל מוסד, ירידה של כ־30% (!) התכנית הרב־שנתית שמה לה למטרה להגדיל את מספר חברי הסגל האקדמי ולמלא את החסר בגין פרישה של חברי סגל.

בשנים תשע"א–תשע"ו צפויה פרישה של כ־800 חברי סגל ותוספת נטו של כ־700 חברי סגל מלבד החברים שיבואו במקום הפורשים, היינו בתקופת התכנית הרב־שנתית תהיה קליטה של כ־1,500 חברי סגל צעירים וחדשים. היקף קליטה כזה בטווח זמן זה חיוני לשמירה על מסה קריטית של מספר חברי הסגל באוניברסיטאות ויחייב תהליכי קליטה תוך שמירה על הצטיינות מדעית. היקף קליטה כזה ישנה לטובה את היחס סטודנט–סגל בכיר באוניברסיטאות בישראל מ־24.3 בשנת תש"ע ליעד של 21.5 בשנת תשע"ו.

תכנית ות"ת בתקציב הרב־שנתי

מרכזי מצוינות

תכנית מרכזי המצוינות (I-CORE: Israeli Centers of Research Excellence) גובשה במסגרת התכנית הרב־שנתית למערכת ההשכלה הגבוהה והוצגה לממשלה על ידי שר החינוך ויו"ר מל"ג

גדעון סער ויו"ר ות"ת פרופ' מנואל טרכטנברג בישיבתה ביום ה-14 במרס 2010. התכנית מנוהלת במשותף על ידי הות"ת והקרן הלאומית למדע.

מתוך החלטת הממשלה מיום 14 במרס 2010:

"לאמץ את התכנית שגובשה על ידי יו"ר ות"ת בשיתוף שר החינוך לחיזוק הסגל האקדמי המחקרי על ידי הקמה מדורגת, על פני חמש שנים, של עד 30 מרכזי מצוינות ועידוד קליטת חברי סגל חדשים בעלות תקציבית רב שנתית כוללת של עד 450 מלש"ח (להלן – התכנית), שעיקריה יפורטו להלן.

בהחלטה זו, 'מרכז מצוינות' – מרכז מחקרי במסגרת אוניברסיטה שנועד לקדם מחקר מעמיק, פורץ דרך וחדשני בתחום מדעי מוגדר. המרכז ישמש עוגן לתשתיות מחקריות ואנושיות בתחומו, ויאפשר ניצול מיטבי של הפוטנציאל המדעי של מדינת ישראל".

במסגרת הגל הראשון של התכנית אושרו ארבעה מרכזים, ואלה החלו את פעולתם בתשע"ב. המרכזים שהוקמו עוסקים במחקר בתחומי הרפואה, מדעי המוח, מדעי המחשב ואנרגיות מתחדשות.

בגל השני בינואר 2013 אושרו 11 מרכזים חדשים. מתוכם ארבעה יעסקו בנושאי מחקר במדעי הרוח והחברה, ושבעה – בנושאי מחקר במדעים מדויקים, בהנדסה ובמדעי החיים והרפואה. המרכזים יקומו כבר בשנה הנוכחית (2013), ומועד ההפעלה של כל אחד מהם ייקבע בהמשך. כמו כן ייתכן שבהמשך השנה תוכרזו הקמתם של מרכזים נוספים, שהצעותיהם עדיין בדין.

כאמור, התקציב הממשלתי הייעודי לתכנית, שמוקצה דרך ות"ת, הוא 450 מיליון ש"ח על פני שנות ההפעלה. ות"ת פועלת גם לגיוס שותפים אסטרטגיים לתכנית, והמוסדות השותפים מממנים חלק נוסף השווה למחצית המימון מות"ת ומהשותפים.

תשתיות המחקר

בתחום תשתיות המחקר התמונה קשה. המחקר במדעים הניסויים הולך ומתייקר עוד ועוד, ואורך החיים של התשתיות הולך ומתקצר. ההשקעות בארץ בתחום זה מועטות מאוד, ולבד מהמשאבים המוזרמים באופן ספורדי ונקודתי לצורך זה דרך תל"מ ותקציבים מזעריים של הקרן הלאומית למדע, כמעט אין תקציב ייעודי מות"ת או מכל גורם אחר. דוח שחובר לאחרונה ביד הנדיב מתאר ומתעד זאת ביתר פירוט בתחום מדעי החיים, שם הציוד המחקרי המתקדם קריטי ומתחלף במהירות.⁴⁹ חלק מהחסר ממולא מתרומות פילנתרופיות של אגודות הידידים של האוניברסיטאות בעולם. התרומות מושקעות בתשתיות מחקר ובמבנים פיזיים. למעשה רובם המכריע של הבניינים באוניברסיטאות לא מומנו על ידי הממשלה אלא על ידי תורמים.

משנת 2010 מסתמן שיפור מסוים בנושא התשתיות. השיפור בא לידי ביטוי בתכנית מרכזי המצוינות שתוארה לעיל ובתכניות דלהן:

1. ישראל הפכה לחברה מייסדת של תשתית Instruct. זהו מיזם שנוסד על ידי הקהילה האירופית ומבוסס על שבע מעבדות ליבה שעיסוקן הוא בביוכימיה מבנית. אחת משבע המעבדות נמצאת במכון ויצמן למדע וחוקרת מבנים של חלבונים. מסמך ההקמה של התשתית הבין-לאומית נחתם בפברואר 2012. מוסדות ישראליים התחייבו לממן דמי רישום שנתיים, אך עדיין חסרה מסגרת תקציבית שתבטיח את מלוא הפעילות של מעבדת הליבה הישראלית.

2. ישראל הפכה לשותפה ב-PRACE

מיזם זה הוא תשתית מבוצרת של מחשבי-על ברחבי אירופה. למוסדות האקדמיים בישראל

אין כיום מחשבי־על. מרכז החישובים האוניברסיטאיים (מחב"א) יזם את הצטרפות ישראל למיזם כדי לאפשר לחוקרים הישראלים הזקוקים לכך גישה ישירה למחשבים המהירים ביותר באירופה. דמי החבר השנתיים משולמים בשלב זה במלואם על ידי האוניברסיטאות בישראל.

3. אוספי הטבע הלאומיים

האקדמיה למדעים קיימה במשך שנים ועדות מעקב וסייעה בהשגת מימון לאוספים הלאומיים באוניברסיטה העברית בירושלים ובאוניברסיטת תל־אביב. לאחרונה הוחלט על הקמת משכן לאוספי הטבע באוניברסיטת תל־אביב. אוספי הטבע שמשקפים את המגוון הביולוגי של האזור זוכים בימים אלה להקמת אכסניה חדשה בתמיכת משרדי ממשלה שונים, קרנות מחקר, תורמים ואוניברסיטת תל־אביב. המבנה, שיהיה מוכן תוך שלוש שנים, יהיה מוזאון מחקר ויאכסן את התשתית הזואולוגית שמשרתת קהל נרחב של חוקרים אקדמאים ומשתמשים מתחומים מגוונים כגון החקלאות, הסביבה, הרפואה, החינוך והביטחון. בכל שנות קיום המדינה תמכה האקדמיה בשימור האוספים המדעיים וראתה בהם נכס לאומי.

4. הפעלת סקר מעקב משקי בית בישראל

סקר ארוך טווח של משקי בית מייצגים בישראל יחקור נושאים מגוונים כגון חינוך, השכלה, בריאות, תעסוקה ומצב פיננסי. הסקר ייערך על ידי הלמ"ס, וכבר החל כשלב מקדמי בקרב 650 משקי בית. בחודשים הקרובים ייכנס לשלב ביצוע שיכלול 8,000 משקי בית ויימשך עד סוף 2012. סקר המעקב הוא מיזם שעתיד להימשך לאורך זמן ולחזור ולעקוב אחר אותם משקי בית. תוצאותיו ישמשו כלי מחקר עיקרי לאקדמאים מתחומי מדעי החברה. ככזה הוא יהיה גם כלי תכנוני חשוב למדיניות ציבורית בנושאים שונים.

הקרן הלאומית למדע

בשנת 1986, לבקשתו של ראש הממשלה מר שמעון פרס, הכין נשיא האקדמיה למדעים דאז פרופ' יהושע יורטנר תכנית אב לקידום המחקר הבסיסי בישראל. בעקבות זאת הוקמה קרן האקדמיה למחקר בסיסי. במשך כעשור שנים הוביל מאמץ של האקדמיה במשותף עם ות"ת להגדלת תקציב הקרן ולהפיכתה לגוף העיקרי בישראל למימון מחקר בסיסי לפי אמות מידה תחרותיות. ביטוי לכך ניתן גם ב־1992 עם הסבת שמה של הקרן ל"הקרן הלאומית למדע".

בשל הגידול הניכר בהיקף פעילותה של הקרן הוחלט על הפיכתה לעמותה עצמאית. בכ"ה באייר תשנ"ה (25.5.1995) הוקמה הקרן הלאומית למדע כעמותה ונרשמה כחוק אצל רשם העמותות. בכך שונה מעמדה המשפטי של הקרן והוחל בהפעלתה כמסגרת ארגונית עצמאית אשר שואבת את סמכותה מהקהילה המדעית. מטרת העמותה היא להעריך הצעות למחקר בסיסי בתחומים של מדעי הרוח והחברה, מדעי החיים והרפואה והמדעים המדויקים והטכנולוגיה, לבחור מבין הצעות אלה ולתמוך בהן בדרך של הענקת מענקי מחקר להצעות למחקר בסיסי. ההצעות נבחרות בהליך תחרותי ועל סמך מצוינות ואיכות מדעית.

כ־93% מתקציב הקרן לשנת תשע"ב הם הקצבת ות"ת; כ־7% הנותרים באים מתרומות ישירות, מפרסים, מקרנות מיועדות ומקרנות שונות המנוהלות על ידי האקדמיה.

הקרן הלאומית למדע היא כיום הגוף העיקרי למימון המחקר הבסיסי בישראל ולקידומו. בשנת תשע"ג פועלת הקרן בתקציב של קרוב ל־400 מיליון ש"ח. הקרן מממנת יותר מ־1,500 מחקרים.

הודות לתרומתה של קרן מורשה (Legacy Heritage Fund) הפעילה הקרן גם תכניות אחרות, כמו למשל תכנית מורשה לקליטת מדענים ותכנית מורשה למחקר בירופואי.

תכנית מוקדי מחקר וכן מרכזי המצוינות, הממומנים על ידי ות"ת, מופעלים אף הם באמצעות הקרן הלאומית למדע.

הפורום לתשתיות לאומיות למחקר ולפיתוח (תל"מ)

פורום תל"מ הוקם ביזמת האקדמיה בשלהי שנת תשנ"ז (1997). משנת תשס"ו (2006) הפורום פועל בסיוע השירותים המנהליים של משרד התעשייה, המסחר והתעסוקה (התמ"ת). בפורום שותפים יו"ר ות"ת, המדען הראשי במשרד התמ"ת, מנכ"ל משרד המדע והטכנולוגיה, ראש מפא"ת במשרד הביטחון, סגן ראש אגף התקציבים במשרד האוצר. נשיאת האקדמיה פרופ' רות ארנון משמשת יו"ר הפורום.

מטרות הפורום הן לתאם בין הגופים המרכיבים אותו בנושאי מו"פ, לקיים התייעצויות, לאגם משאבים מתקציבי הגופים האלה ולקבוע אחריות ביצוע של אחד או יותר מגופי הפורום בנוגע לפיתוח תשתיות מו"פ לאומיות.

ערוצי התמיכה במו"פ ממקורות לאומיים בישראל קיימים בעיקר במסגרות אלה:

מחקר בסיסי איכותי המנוהל ומתוקצב על יסוד עקרונות תחרותיים.

מו"פ מגזרי (חקלאות, תעשייה, ביטחון ועוד) המנוהל ומתוקצב על יסוד צרכים וצפי ליישומים מוגדרים.

השותפים בתל"מ סבורים כי מלבד ערוצים אלה יש צורך לתמוך מעת לעת בהקמת תשתיות מו"פ בתחומים שונים. לעתים תשתיות מו"פ אלה אינן נופלות בתחום אחריותו הבלעדית של אחד מגורמי התמיכה במו"פ, ובחינה מקצועית של ההצעות והדרכים להקמת תשתיות לאומיות כאלה נעשית בפורום תל"מ, שממליץ גם על דרך האיגום התקציבי המתאימה מתוך תקציבי מרכיבי הפורום (וגופים מעוניינים אחרים) וכן על הגורמים שיהיו אחראים לביצוע ולבקרה במסגרת התקציבית שנקבעה.

מאז הקמתו החליט פורום תל"מ על איגום משאבים למיזמים מדעיים וטכנולוגיים, ועל ביצועם, בהיקף כולל של מאות מיליוני דולרים. ואלה המיזמים העיקריים:

1. השתתפות שנתית של ישראל במתקן הסינכרוטרון האירופי (ESRF) – בהיקף כולל של 10 מיליון דולר.
 2. מיזם אינטרנט 2 (תקשורת רחבת פס מהדור השני) – בהיקף של 38 מיליון דולר.
 3. מאיץ חלקיקים במרכז למחקר גרעיני שורק (SARAF) – בהיקף של 25 מיליון דולר.
 4. רכישת ציוד כבד למחקרים בנוטכנולוגיה – בהיקף של 11 מיליון דולר.
 5. הקמת מרכז מחקר לננוטכנולוגיה בטכניון – בהיקף של 78 מיליון דולר.
 6. הקמת מרכזי מו"פ לננוטכנולוגיה ולננומדע עוד בחמש אוניברסיטאות מחקר – בהיקף כולל של 142.5 מיליון דולר.
 7. הקמת מרכזי ציוד לשירות המו"פ הביוטכנולוגי – בעלות של 10 מיליון דולר.
 8. הקמת תשתית לרשת "גרید" לאומית (למינוף משאבי המחשוב) – בעלות של 2.6 מיליון דולר.
 9. רכישת ציוד למו"פ בתאי גזע – בעלות של 10 מיליון דולר.
 10. הקמת מאגר/בנק רקמות לאומי – בעלות של 8.9 מיליון דולר.
- נוסף על אלה נבדקים בימים אלה הצורך והאפשרות להקמת מרכזי מו"פ בתחום חקר המוח ובתחום הפוטוניקה.

נווטכנולוגיה בישראל 2012

ננומדע ונווטכנולוגיה הם מוקד לפעילות כלל-עולמית של מו"פ בכל המדינות המתקדמות בעולם ובמדינות מתפתחות. היקף התמיכה הממשלתית העולמית עד סוף 2011 הגיע לכ-65 ביליון דולר. בשנת 2011 היה היקף התמיכה הממשלתית העולמית מעל 8 ביליון דולר (ארצות הברית כ-2.2 ביליון דולר, רוסיה - 1.9, סין - 1.3, יפן - 0.9, הקהילה האירופית - 0.8, גרמניה - 0.75, דרום-קוראה - 0.4). מדינת ישראל נמצאת בעיצומה של תכנית ייחודית ומוצלחת לבניית תשתית מחקרית ואנושית של ננומדע ונווטכנולוגיה, אשר תתרום תרומה חשובה ביותר לקידום מדעי-טכנולוגי של צורכי המדינה בתחומי הכלכלה, האנרגיה, הסביבה, הבריאות והביטחון. תכנית זאת היא אב-טיפוס לפעילות בתחום מדיניות המדע הלאומית שמטרתה קידום תחומים טכנולוגיים-תעשייתיים חדשניים הנשענים על מחקר אקדמי ייעודי, אשר מדינת ישראל אינה יכולה להרשות לעצמה שלא להיכנס אליהם במלוא העצמה.

יזמת תל"מ

בשנת 2002 הקים נשיא האקדמיה פרופ' יעקב זיו, בתפקידו כיו"ר פרום תל"מ, ועדת בדיקה לנושא הננוטכנולוגיה. ועדת הבדיקה בראשות ד"ר דן מידן, טכנולוג ישראלי מוביל, כללה נציגים ממשרדי הממשלה, מהאקדמיה ומהתעשייה. הוועדה קבעה כי יש צורך לאומי מובהק ודחוף בקידום הננוטכנולוגיה בארץ, ניסחה את המטרות הלאומיות ואת סדר העדיפויות לתכנית שהוצעה והמליצה על התמקדות בתחומי הננוטכנולוגיה שיש בהם חשיבות לאומית וגם יתרון יחסי לקהילה המדעית בארץ, וזאת לצורך ייעול השימוש במשאבים. התחומים הם אלה: ננוחומרים, ננואלקטרוניקה/אופטרוניקה, ננוביולוגיה וננורפואה, טיהור והתפלת מים ואנרגיות חלופיות. הוועדה המליצה על כינון תכנית לאומית חמש-שנתית בהיקף של 300 מיליון דולר ועל חלוקת ההשקעה בין הפעילויות המחקריות והתעשייתיות, וקבעה מדדים להצלחת התכנית. כמו כן המליצה הוועדה על הקמת ועדה לאומית לנווטכנולוגיה שתקדם את יישום ההמלצות ותגייס כספים לצורך תמיכה במו"פ.

הוועדה הלאומית לנווטכנולוגיה

הוועדה הלאומית לנווטכנולוגיה (הול"נ) בראשותו של ד"ר דן מידן ובהשתתפות אנשי תעשייה, מדע ומנהלי מחקר בכירים מונתה לראשונה ב-2003 על ידי פרופ' יעקב זיו, נשיא האקדמיה, וד"ר אלי אופר, המדען הראשי במשרד התעשייה, המסחר והתעסוקה. ייעוד הול"נ הוא קידום פעילות המו"פ בתחומי הננוטכנולוגיה בארץ כדי שתביא ליצירת הדור הבא של תעשייה מצליחה ומובילה בקנה מידה בין-לאומי. אלה היו משימות הול"נ:

- א. קידום הקמת תעשייה בארץ המבוססת על ננוטכנולוגיה, קידום הקמת התשתית המחקרית והטכנולוגית, כולל תשתית הציוד והמעבדות הדרושים לשם כך.
- ב. ביצוע הפעילות הנדרשת לצורך קביעת המדיניות הלאומית להקצאת המשאבים בתחום הננוטכנולוגיה.
- ג. גיוס משאבים ממקורות ציבוריים ופרטיים לצורך תמיכה בתכנית.
- ד. הנהגה והכוונה של מימוש התכניות הלאומיות.

התכנית החמש-שנתית הראשונה לננומדע ונווטכנולוגיה:

התכנית החמש-שנתית הראשונה (2007-2011) לתמיכה במחקר אקדמי בננוטכנולוגיה החלה בטכניון ב-2005 ובשאר האוניברסיטאות ב-2007, והסתיימה ב-2011. הננומדע והננוטכנולוגיה הם בין-תחומיים, והשפעתם תשתקף בכל מגוון הפעילות המדעית, הטכנולוגית והתעשייתית. לפיכך נדרשת פריסה רחבה של בניית התשתית המחקרית, היות שהרעיון הטכנולוגי המוביל הבא עשוי

לצמוח בכל מרכז מחקר ברמה גבוהה. לצורך זה החליט פורום תל"מ על הקמה וקיום של מרכזי ננומדע וטכנולוגיה בשש אוניברסיטאות מחקר (האוניברסיטה העברית בירושלים, אוניברסיטת תל-אביב, אוניברסיטת בר-אילן, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב, הטכניון ומכון ויצמן למדע) כשלב הראשון ההכרחי להקמת התשתית המדעית-טכנולוגית שעליה תתבסס הפעילות התעשייתית המתקדמת בארץ. התכנית הלאומית החמש-שנתית היא אפוא מכוונת-יישום-תעשייתי של הישגים המדעיים שיושגו באמצעותה. מטרות התכנית החמש-שנתית הראשונה הן אלה:

א. הקמת תשתית פיזית, מדעית-טכנולוגית בתחומי הננוטכנולוגיה בשש אוניברסיטאות המחקר, על פי המלצות ועדת מידן 2002 והוועדה הלאומית לננוטכנולוגיה, שעליה תיבנה התעשייה המבוססת על ננוטכנולוגיה בישראל.

ב. השבה מחו"ל של מדענים ישראלים מובילים בתחום.

ג. התחלת היישום התעשייתי של הישגי המחקר האקדמי: התכנית החמש-שנתית הראשונה לננומדע וטכנולוגיה מומנה מן התקציבים שהקצו מקורות ממשלתיים לתכנית, בהיקף של 73.5 מיליון דולר במשך חמש שנים. התקציבים אוגמו מתקציבי המשרדים השותפים בפורום תל"מ ובהשתתפות משרד האוצר. כנגד כל הקצאה מכספי המדינה לאוניברסיטה מסוימת העמידה אותה אוניברסיטה הקצאה כספית שווה ממשאביה ועוד הקצאה כספית שווה מכספי תרומות שגייסה. לרשות התכנית עמד אפוא תקציב בהיקף של כ-220 מיליון דולר במשך חמש שנים. את התכנית ניהלו המדען הראשי במשרד התמ"ת, יו"ר הות"ת והמדען הראשי במשרד המדע והטכנולוגיה. הול"נ גיבשה וניסחה את מדיניות התמיכה, והמליצה על קריטריונים לבחינת התקציבים המבוקשים ועל המפתחות למימון הפעילות המחקרית. הול"נ המליצה על ההיקף המרבי למסגרת התמיכה בכל אחת מהאוניברסיטאות.

מרכיב חיוני בהצלחת התכנית הם ההנחיה, המעקב והבקרה. את הישגי התכנית בחנה בכל שנה הוועדה המייעצת הבין-לאומית לננומדע וטכנולוגיה, הכוללת מדענים וטכנולוגים מהשורה הראשונה מארצות הברית ומהארץ, ושמונתה על ידי מנהלי התכנית, והגישה את המלצותיה לול"נ.

הישגי התכנית החמש-שנתית הראשונה מרשימים ביותר לפי המדדים שנקבעו. התכנית חוללה שינוי מהותי בתרבות המחקר הייעודי באוניברסיטאות. הושבו ארצה 88 מדענים מצטיינים מאוניברסיטאות מובילות בחו"ל (הרוורד, קלטק, מ.י.ט. בארצות הברית וקיימברידג' שבאנגליה), שקליטתם המוצלחת התאפשרה הודות לזמינות המשאבים לצורך הקמת מעבדות המחקר ובניית קבוצות המחקר. רכישת ציוד מחקר בסיסי מודרני בהיקף של כ-100 מיליון דולר חוללה מהפכה ביכולת המחקר הניסויי. צירוף של מנהיגות מחקרית וציוד מתקדם הביא את המחקר בננומדע וטכנולוגיה להישגים ברמה בין-לאומית ולהכרה עולמית, שהתבטאה בין השאר בהשגת מענקי מחקר נרחבים ממקורות בחו"ל. התכנית פעלה כמנוע לשיתוף פעולה אקדמי-תעשייה והתבטאה ביישום פטנטים ובהקמת חברות הזנק.

התכנית הלאומית החמש-שנתית השנייה לננומדע וטכנולוגיה 2012-2016

הצלחתה המוכחת של התכנית הראשונה בשנים 2005-2012 הביאה לכינונה של התכנית הלאומית השנייה לננומדע וטכנולוגיה לשנים 2012-2016 בהיקף של 180 מיליון דולר לחמש שנים. מטרות התכנית השנייה הן אלה:

1. שימורה וטיפוחה של התשתית המחקרית-טכנולוגית המתקדמת שהוקמה באוניברסיטאות.
2. המשך המחקר והפיתוח הייעודי בנושאי הננומדע והטכנולוגיה, בהדגשת העברת הידע ליישום בתעשייה.

המרכיב החדשני בתכנית השנייה הוא תמיכה בהיקף של 75 מיליון דולר לחמש שנים בפעילות מדעית-טכנולוגית תחרותית במסגרת תחומים טכנולוגיים ממוקדים, וזאת כדי לנצל ניצול מרבי את התמיכה הממשלתית ברכישת ציוד, להעצים את היתרונות היחסיים של כל מרכז ננו-אוניברסיטאי ולקדם את שיתופי הפעולה בין המרכזים לבין עצמם ועם התעשייה.

ההישגים המרשימים בתחומים החדשניים של ננומדע/טכנולוגיה מבטאים נאמנה את הפוטנציאל, ההישגיות והתרומה של אוניברסיטאות המחקר ואת רמתה הגבוהה של המנהיגות האקדמית-מחקרית לצורך פיתוח תחומי מחקר ייעודי ויישומי התעשייתיים בחזית המדע והטכנולוגיה העולמית, ולקידום צורכי המדינה.

התפתחויות במדע ובטכנולוגיה במאה העשרים

התועלת הגדולה הטמונה במדע הבסיסי התגלתה במלוא עוזה במאה העשרים במלחמת העולם השנייה. המדענים נרתמו למאמץ המלחמתי בארצות הברית ובאנגליה, ובלי תרומותיהם אין ספק שהמלחמה הייתה מתארכת ואולי אף נגמרת אחרת. פיתוח פצצת האטום והרדאר על ידי פיזיקאים, הגומי הסינתטי על ידי כימאים ופיצוח מכונת ההצפנה הגרמנית Enigma על ידי מתמטיקאים הם דוגמאות נבחרות בולטות לתרומה ישירה של מדע בסיסי למאמץ המלחמתי. בתום המלחמה שכנעו הישגים אלה ורבים אחרים את מקבלי ההחלטות, שבמדע הבסיסי טמונה עצמה ביטחונות וכלכלית, ועל כן יש לטפח אותו במישור הלאומי. לפיכך החלו ממשלות בנות הברית להשקיע סכומים הולכים וגדלים בקידום המחקר הבסיסי באוניברסיטאות ובמכוני המחקר. התוצאות לא איחרו לבוא, והמחצית השנייה של המאה העשרים הביאה לא רק לקדמה מדעית חסרת תקדים אלא גם לקדמה הטכנולוגית-כלכלית הגדולה בהיסטוריה האנושית. גלי חדשנות טכנולוגית באו בזה אחר זה, וכל גל מעוגן במחקר הבסיסי, ובשולבם הביאו לעלייה מתמדת בתוצר הלאומי, הנמשכת עד ימינו אלה, למשל: פולימרים וחומרים פלסטיים, אלקטרוניקה ותקשורת, מחשבים ספרתיים, לייזרים, תעופה וחלל, הנדסה גנטית, חקלאות וייצור מזון, פיצוח הגנום האנושי, דיאגנוסטיקה רפואית ותרופות, ביוטכנולוגיה והאינטרנט.

לא מפתיע אפוא שכל מדינה הציבה את הקדמה המדעית גבוה בסדר העדיפויות הלאומי. סין למשל הגדילה בעשור האחרון את הוצאות המו"פ פי ששה, היא הכפילה את מספר המדענים שלה, והיא שנייה לארצות הברית במספר הפרסומים המדעיים.

ההייטק, שבו ישראל מצטיינת במיוחד, מבוסס בעיקר על תעשיות מידע ותקשורת - ICT (וליתר פירוט: אלקטרוניקה, מחשבים ותקשורת). מקורותיו האקדמיים הם במחקר הבסיסי במדעי המידע והתקשורת ובמדעי המחשב; בפיתוח מחשבים שיכולת החישוב שלהם גדלה כמעט אקספוננציאלית, תוך מזעור הולך וגדל של גודלם הפיזי, וירידה כמעט אקספוננציאלית של עלות החישוב. לאחר יישומן של טכנולוגיות אלה לצרכים ביטחוניים, שבהם השקיעו - ועודן משקיעות - כל המדינות המפותחות, ובהן ישראל, הון עתק, הן החלו לגלוש לשוק האזרחי והן משנות את אורח החיים המודרני מן היסוד. קשה לתאר היום חיים ללא מחשבים, טלפונים סלולריים, אם-אר-אי, סי-טי, תומכנים, נווטנים (GPS), לווייני תקשורת, תעופה מודרנית, די-וי-די, תקליטורים, גלישה באינטרנט, המסייעים לנו לדלות מידע בכל נושא שבעולם בשניות מים של מידע נגיש בקצות האצבעות וללא מסחר אלקטרוני. והיום אפשר להוסיף על אלה גם את הרשתות החברתיות "פייסבוק" ו"טוויטר".

גלישת טכנולוגיות אלה ממערכות הביטחון לשוק הפרטי היא תהליך פשוט יחסית, כי טכנולוגיות ההייטק מונעות מרוח יזמית: קבוצה קטנה של מדענים ומהנדסים מוכשרים מפתחת תכנות ומוצרים חדשים בתעוזה ובזמן קצר יחסית במימון קרנות הון סיכון, ותוצרתה נמכרת לחברות גדולות יותר. חברות יזמיות אלה נוטות להתכנס בצברים בסביבת אוניברסיטאות, כמו למשל

דרך 128 בבוסטון ועמק הסיליקון בקליפורניה. בישראל הן מפוזרות באזורי התעשייה של הערים הגדולות תל-אביב, חיפה וירושלים ובפארקים מדעיים קשורים לאוניברסיטאות המחקר. בקידום היזמות יש יתרון להיותה של ישראל קטנה, כי גודלה זה מקל מאוד את האינטראקציה שבין היזמים לספקים, בינם לבין עצמם ובינם לבין אוניברסיטאות ומכוני המחקר וגם מזרז את גלישתן של טכנולוגיות ביטחוניות לשוק האזרחי.

אופקים חדשים של המדע במאה העשרים ואחת

אי אפשר לחזות מה תהיינה פריצות הדרך החשובות במדע בעתיד, ודאי אי אפשר לחזות אילו שימושים יהיו לפריצות הדרך הללו. לכן עידוד מחקר המונע מסקרנות מדעית חיוני כל כך לקדמה המדעית והטכנולוגית של המדינה. אין-ספור דוגמאות מן העבר מעידות על נכונות טענה זאת. פריצות הדרך שתוארו לעיל אף הן מאשרות את הטענה הזאת. עם זאת אפשר להציע תחומי מחקר רחבים רוויי סיכויים לחדשנות. למשל, במחצית השנייה של המאה העשרים כבר היה ברור שמחקר באלקטרוניקה, בהנדסת המחשב ומדעי המחשב ובמדעי התקשורת יהיה כר פורה לחדשנות. תחומים אלה היו חיוניים גם לטכנולוגיות ביטחוניות, ולכן כל הארצות המתקדמות, כולל ישראל, השקיעו הון עתק במחקרים מהסוג הזה. השקעות ביטחוניות אלה הביאו לעולם בין היתר את האינטרנט – שבעצמו משנה את העולם ואת הדרך שבה אנחנו חיים, כולל הפייסבוק – ואת הנווטן. החדשנות והקדמה בתחומים אלה לא פסו מן העולם, והחדשנות תוסיף ותחולל עוד שנים רבות.

אבל לצד אלה הולך ומתהווה גל חדש של חדשנות, שאולי יעלה בחשיבותו על הגל הקודם, שיהיה מעוגן לא במניפולציה מתוחכמת של אלקטרונים וביטים אלא במניפולציה של אטומים, מולקולות וגנים. מקורם של אלה בבילוגיה מולקולרית, ברפואה אישית, בפרוטאומיקה וגנומיקה, במדעי החומרים, בננומדע וננוטכנולוגיה, במדעי המוח, במדעים הקוגניטיביים ובחקר התודעה האנושית. מחקר בתחומים הללו איננו אפשרי בלא היכולות והכלים שהאלקטרוניקה, המחשבים והתקשורת מציעים, כלומר יש כאן סינרגייה פורייה בין הגל הקודם לגל הנוכחי. למחקר בתחומים חדשים אלה שלושה מאפיינים שיש לשים לב אליהם בהתוויית מדיניות מדע לאומית: ראשית קבועי-הזמן בתחומים אלה ארוכים יותר; שנית ההשקעות הנחוצות לקידום רבות יותר; שלישית הן לא יבואו מהמחקר הביטחוני בלבד אלא גם, ובעיקר, ממעבדות המחקר של אוניברסיטאות המחקר. לפיכך ברור שהמדיניות הלאומית שהביאה לקיצוץ מתמשך במשך עשור ויותר באוניברסיטאות המחקר הייתה מזיקה ונגדה את האינטרס הלאומי הישראלי.

פרק ②



פרק ז: מסקנות והמלצות

ראשי פרקים:

- רקע היסטורי
- מסקנות
- המלצות

רקע היסטורי

מאז ומתמיד ראתה התנועה הציונית במחקר המדעי ובהצטיינות הרוחנית רכיב חיוני להגשמת מטרותיה. זו הייתה משנתו של חיים ויצמן, שסבר כי רק באמצעות פיתוח תכונותיו הרוחניות של עמנו נוכל להגשים את צרכינו החומריים. השקפה זאת, שעוברת כחוט השני בכל שנות קיומה של המדינה בכל תחומי החיים, היא פועל יוצא של ההכרה שאנחנו עם קטן, ולכן על האיכות לספק את היתרון היחסי והמכריע להצלחה ולהישרדות. אכן, מאז הקמת המדינה הניח דוד בן-גוריון את היסודות המעשיים למדיניות זאת במערכת הביטחון והאקדמיה. הוא כיבד את המדע הישראלי לענפיו ותמך בו בכל לבו ומימן אותו בנדיבות על פי האפשרויות דאז. הוא גם יזם והקים את האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים, שמגישה מסמך זה לכנסת ולממשלה.

לאור חזון זה מאז שחר ההגשמה הציונית הוקמו בארץ, עוד בטרם הקמת המדינה, שלושה מוסדות להשכלה גבוהה: הטכניון (1924), האוניברסיטה העברית (1925) ומכון זיו (ויצמן) (1936). זאת כאשר אוכלוסיית היישוב מנתה מאות אלפים בלבד. מסורת זאת של הערכה למדע ולימודים והכרת המנהיגות והציבור הרחב בחשיבותם העליונה לביטחון ולמשק נמשכת עד היום הזה. פרותיה של השקפת עולם זאת ניבטים מהישגיה יוצאי הדופן של ישראל במערך הביטחוני, שמבטיח את קיומה של מדינת ישראל, ובתעשיות ההייטק מהמובילות בעולם ושלחן חלק מכריע ביצוא הישראלי. אולם דוח זה על מצב המדע לכנסת ולממשלה מדגיש את העובדה שעכשיו בעשור השני של המאה העשרים ואחת אנחנו מצויים על פרשת דרכים ונדרשים לאמץ מדיניות מדע חדשה ומרחיקת ראות.

מערכת המדע הישראלית הוכיחה פעם אחר פעם את יכולתה לתרגם השקעה כספית לפריצות דרך גדולות במיוחד בקנה מידה בין-לאומי. הישגים אלה מקדמים את הידע האנושי, ובד בבד מסייעים לחוסנה של המדינה מבחינה כלכלית ובין-לאומית. כיום, בזמן שאנו קוטפים את הפירות האחרונים של השקעות העבר, קיים צורך דחוף לחזור לראיית העולם הרחבה של מקימי המדינה, שראו במדע את אפיק ההשקעה המבטיח ביותר של עם ישראל – שיבטיח את קיומה ושגשוגה של המדינה בעתיד.

מסקנות

1. הפוריות המדעית הישראלית, הנמדדת במספר המאמרים המדעיים לנפש, היא מהגבוהות בעולם, והמצוינות המדעית, הנמדדת במספר הציטוטים הממוצע למאמר, ממקמת את ישראל בקרב המדינות המובילות בעולם. מדענים ומדעניות ישראלים זכו בפרסים בין-לאומיים יוקרתיים רבים. הישגים אלה הם פרי מאגר יכולות מדעיות והשקעות העבר מצד אחד וההערכה שהאוניברסיטאות והמדע והטכנולוגיה הישראליים זוכים לה בציבור הרחב, מצד אחר. אולם לאחרונה מסתמנת ירידה במדדים הללו, ויש לתת על כך את הדעת.

יתר על כן, בשני העשורים האחרונים מתרחשים שינויים מפליגים שיש להבינם ולפעול לאורם. ראשית, במחקר המדעי עצמו קיימים תהליכי-על, ובהם אלה: (א) מעבר הדגש ממדעי וטכנולוגיות ICT אל המדעים הביולוגיים, מדעי החומרים (ננו) ומדעי הרפואה והמוח. טכנולוגיות ה-ICT הובילו את המהפכה המדעית-טכנולוגית-תקשורתית (ההייטק הנוכחי) שהחלה ברבע האחרון של המאה העשרים ונמשכת עד היום הזה. טכנולוגיות אלה יצרו את העולם הגלובלי. אולם היום הסינרגיה של מדעי וטכנולוגיות ה-ICT עם המדעים הביולוגיים, מדעי החומרים ומדעי הרפואה והמוח, יוצרת את טכנולוגיות העתיד (ההייטק העתידי) ותקבע את מעמדן הכלכלי של המדינות; (ב) המחקר המדעי הופך להיות רב-תחומי, כלומר כדי להביא לקדמה נחוצה עבודה משותפת של מדענים רבים מדיסציפלינות שונות בקבוצות מחקר גדולות שעלותה גדולה לאין שיעור מהמחקר המדעי הקלאסי; (ג) הציוד המדעי משתכלל בצורה אקספוננציאלית וכן עלותו; (ד) ההשקעות בכל

המדינות בעולם במדע וטכנולוגיה מרקיעות שחקים, כולל המדינות במזרח התיכון, מתוך ההכרה שעתידין הכלכלי מותנה ביכולות אלה, והדבר מביא לתחרות בין-לאומית קשה ואכזרית כדי להצליח ולשרוד.

2. מקורן של טכנולוגיות ה-ICT בארץ ובעולם היה המחקר הביטחוני, שהושקע בו הון עתק, ואילו מקור הטכנולוגיות החדשות של המאה העשרים ואחת יהיה מעבודות המחקר של אוניברסיטאות המחקר. דוח זה לכנסת ולממשלה בא להתריע על מצבן של אוניברסיטאות המחקר שלנו, שאינן מוכנות, אינן מצוידות ואינן ממומנות במידה הראויה כדי לעמוד באתגרי המחר ולהבטיח שמדינת ישראל תוכל להמשיך ולהיות בחזית המדעית-טכנולוגית של ההיי-טק העתידי. נחוצה קפיצת מדרגה בכל הנוגע להשקעות במחקר המדעי באוניברסיטאות. המדיניות הנוכחית של המל"ג ושל הות"ת להקמת 30 מרכזי מצוינות רב-תחומיים היא צעד בכיוון הנכון אבל רחוק מלהספיק. המיזם הלאומי נומדע וטכנולוגיה יכול להיות דגם מנחה לדרך ולהיקף המימון הנחוצים למחקר המדעי בעתיד בתחומים שונים ומגוונים.

3. המחקר המדעי הבסיסי ממומן היום בשני מקורות: (א) הקצבות גלובליות של ות"ת לאוניברסיטאות שבהן חלק מהתקצוב ניתן על פי קריטריונים מסוימים בגין הפעילות המחקרית; (ב) קרנות מחקר תחרותיות כמו הקרן הלאומית למדע, הקרנות הדור-לאומיות, תכניות המחקר האירופיות ואחרות אשר נסקרו בדוח זה. לאור המגמות במחקר המדעי שתוארו לעיל ייתכן שיש מקום לקרן תחרותית נוספת, שתהיה מיועדת למחקר במדעי החיים והרפואה, כולל מדעי המוח ורפואה אישית, בדומה ל-NIH האמריקאית, וכן קרן שתתמוך תמיכה ייחודית במחקר תרגומי.

4. טיפוח מדיניות מדע לאומית – יש לזהות ולפתח תחומי מחקר חדשניים ולהשתתף באתגרים הגלובליים:

זיהוי תחומים חדשניים

מדיניות מדע לאומית, שמטרתה לקדם תחומים חדשים ומבטיחים, היא כורח המציאות במדינת ישראל. לכן יש לקיים מעקב צמוד אחר התפתחות ענפי המדע והטכנולוגיה כדי לזהות תחומים חדשים ולדאוג להשקעה הולמת ומידית בהם. הצלחתן של תכניות החומש בתחום הנווט-טכנולוגיה, שהתוו במשותף מדיניות ממשלתית, אוניברסיטאית ועסקית לקידום המחקר המדעי בתחום, יכולה לשמש דוגמה מצוינת והוכחה ליכולות מערכת המדע הישראלית.

אתגרים גלובליים

הקהילה המדעית הכלל-עולמית מונעת יותר ויותר מהצורך למצוא פתרונות למגוון של סוגיות המציבות איום קיומי ועולמי. "האתגרים הכלל-עולמיים" זכו לתשומת לב רבה בשנים האחרונות, וכיום הם מרכיב מפתח באסטרטגיות המדע הלאומי והבין-לאומי ובמנגנוני מימון רבים. האתגרים הכלל-עולמיים תלויים אלה באלה ויש ביניהם יחסי גומלין. עם האתגרים האלה נמנים שינוי אקלים, דלדול מקורות מי השתייה, אבטחת הספקת המזון לאוכלוסייה הגדלה, אבטחת אנרגיה, שינויים בקרב האוכלוסייה והיעלמותם של צמחים ובעלי חיים בסביבתם הטבעית. הדינמיקה בין סוגיות אלה מורכבת, אולם הערכות כלל-עולמיות ותכניות מחקר רבות נעשות בכל סוגיה בנפרד, והדבר משקף לעתים קרובות העדר תיאום בתחום המדיניות. המדע מסייע לאמץ הסתכלות רחבה יותר על אתגרים כלל-עולמיים כדי להבין את ההדדיות שביניהם.

המלצות

1. שינוי כיוון הכרחי – להגדיל ההשקעה הציבורית במחקר מדעי

עם התפתחותו של המדע בעשורים האחרונים והתפרסותו לעבר תחומים חדשים, הופכת פעילות המחקר ליקרה יותר ויותר. דינמיקה זו מחייבת מדיניות השואפות להתקדם מבחינה מדעית להשקיע

סכומים הולכים וגדלים בצידוד, במעבדות ובתקציבי מחקר. מדינות המערב המובילות אכן הבינו זאת, ומגדילות בעקיבות את תקציבי המדע שלהן, ואילו מדינת ישראל הקפיאה את תקציבה, ובמקרים רבים אף צמצמה את ההשקעות. תהליך זה השתקף ב"העשור האבוד" של מערכת ההשכלה הגבוהה בישראל, שנזקיו עדיין מורגשים. כיום מספר הסטודנטים למרצה בישראל הוא מהגבוהים ביותר במדינות המערב, ואילו מספר חברי הסגל באוניברסיטאות (כ-4,300) נותר ללא שינוי כבר 30 שנה, וגילם הממוצע עולה בהדרגה.

לכן קיים צורך דחוף בהגדלת ההשקעה הציבורית במחקר מדעי בישראל. שינוי כיוון זה הוא כורח המציאות, משום שישראל פועלת בעולם שהבין את חשיבותו של מחקר מדעי, עולם שבו תקציבי ההשכלה הגבוהה הולכים ומטפסים, ושבנו על מדינת ישראל מוטלת החובה להתקדם – ולא להישאר מאחור.

2. אי־פגיעה בתקציבי מערכת ההשכלה הגבוהה

בשנים האחרונות גרמו קיצוצים ומחסור בתקציבים להידרדרות עקיבה בהיקף הסגל האקדמי שנשחק בשל פרישה וחוסר תקנים. בעקבות זאת ירדה ישראל במדרג העולמי של מספר הפרסומים לנפש – מהמקום הראשון בסוף שנות השמונים ועד למקום השלושה־עשר ב־2010. לצד זאת התגברות התופעה של בריחת המוחות והמשאבים המועטים שמוקצים בישראל לתלמידים לתואר שלישי מאיימים על עתיד מערכת המדע הישראלית. לכן יש למנוע בכל מחיר פגיעה תקציבית במערכת ההשכלה הגבוהה ובתמיכה במחקר. ההון האנושי העוסק במחקר במדעים ובטכנולוגיה הוא אחד מהמשאבים החשובים ביותר שיש למדינת ישראל, ויש לדאוג לטפח אותו.

3. הבטחת עתיד המחקר וההיי־טק הישראלי – לתגבר הוראת מדעים בבתי הספר התיכוניים

בעשורים הקרובים יעוצבו פניו של המדע הישראלי במידה רבה לפי אופיים ויכולותיהם של תלמידי ישראל כיום. אף על פי שבמבחנים הבינ־לאומיים תלמידי מערכת החינוך הם במקום נמוך מאוד במדעים ובמתמטיקה, הפוטנציאל הרב הקיים כאן משתקף מדי שנה באיכותם של הסטודנטים המתקבלים בשערי אוניברסיטאות המחקר בשאיפה ללמוד בתחומים אלה. כדי למצות את הפוטנציאל הזה ולא לעמוד בעוד כעשור בפני תעשיית ההיי־טק קורסת בשל חוסר כוח אדם מתאים (הצפי הוא למחסור בכ־7,000 מהנדסים בעוד עשר שנים), יש להגדיל כבר היום הגדלה ניכרת את מספר תלמידי חטיבת הביניים והחטיבה העליונה הלומדים מתמטיקה, פיזיקה וכימיה ברמה של חמש יחידות. בעקבות זאת יעלה מספר הלומדים את מקצועות המדע וההנדסה באוניברסיטאות, שהם מרכיב הכרחי לשגשוגה של "אומת הסטארט־אפ".

4. תגבור המשאבים והתשתיות למו"פ אוניברסיטאי עד לרמה הממוצעת במערב

כיום שיעור ההוצאה למו"פ אוניברסיטאי מכלל ההוצאה הלאומית למו"פ של ישראל (13% בלבד) הוא מן הנמוכים בכל מדינות ה־OECD. לעומת ההוצאה על מו"פ אוניברסיטאי בישראל, שקפאה על שמריה, ברוב המדינות המפותחות חל גידול ניכר בתחום זה. על מדינת ישראל להחזיר את ההשקעה לרמות המקובלות במערב ולהביא בחשבון את הירידה הניכרת בתמיכה הפילנתרופית במוסדות האקדמיים הישראליים. יש להמשיך ולפעול לפיתוחם של מרכזי מצוינות כפי שנקבעו בתכנית הרב־שנתית של הות"ת ולמקד את המימון בנושאים מדעיים בעלי עדיפות. גם בתחום תשתיות המחקר התמונה קשה, וקיים מחסור בתשתיות מחקר לאומיות. המחקר במדעים הניסויים הולך ומתייקר, ואורך החיים של התשתיות הולך ומתקצר. ההשקעות בארץ בתחום זה מועטות

מאוד, וכמעט שאין תקציב ייעודי מות"ת או מכל גורם אחר. נדרשת תכנית רב-שנתית לתגבור תשתיות המחקר, במשולב עם תיקון מצבת כוח האדם האקדמי במוסדות להשכלה גבוהה.

5. החזרת מדענים מצטיינים (מניעת בריחת מוחות)

הנתונים בעולם מעידים על כוח המשיכה של המדינות החזקות מדעית, בייחוד ארצות הברית ומערב-אירופה. אם בעבר נאבקה למשל בריטניה בזרם הגירה של מיטב המוחות שלה לארצות הברית, כיום סוגיות "בריחת המוחות" הן בדרך כלל עניינן של מדינות מתפתחות.

זרימה חד-סטריט של טכנולוגיה והון מהמרכז לפריפריה משתנה, ובמקומה נוצרת זרימה דו-סטריט מורכבת ומבוזרת הרבה יותר של כישורים, הון וטכנולוגיה, והמדענים הולכים בעקבות המדע והמשאבים הטובים ביותר.⁵⁰ ממשלות מסוימות מבינות את ערך "זרימת המוחות" ומעבירות משאבים כדי למשוך כישרון לאומי בחזרה הביתה להתחיל עסק חדש או לקבל משרה בכירה באקדמיה תוך שמירה על קשרים שימושיים עם ארצות הברית או אירופה.

בסין למשל מתוך 1.06 מיליון סינים שלמדו בחו"ל בשנים 1978–2006 לא חזרו יותר מ-70%. הממשלה הסינית החליטה לתת עדיפות למדיניות שנועדה למשוך את המדענים הסינים חזרה. בהודו יש בעיה דומה. לצורך זה הקימה ממשלת הודו משרד מיוחד.

בישראל נעשות כמה פעולות:

הממשלה, באמצעות ות"ת והקרן הלאומית למדע, הפעילה את תכנית מרכזי המחקר (I-CORE). כמו כן נעשתה פעילות באמצעות תל"מ בתחום הננוטכנולוגיה. נוסף על כך נעשה מאמץ משותף בכיוון זה של הממשלה באמצעות משרד הקליטה, המדען הראשי של התמ"ת ובעיקר על ידי הות"ת והאוניברסיטאות. פעילות זו מנוהלת באקדמיה למדעים באמצעות מרכז הקשר לקליטה במדע. יש לתגבר הפעילות כדי למנוע בריחת מוחות של מדענים ישראלים מצטיינים.

6. תגבור קשרי מערך המחקר הישראלי עם גופי מחקר בין-לאומיים

מצוינותו של המדע הישראלי כיום הופכת את ההשקעה במסגרות מדע בין-לאומיות לכדאית ביותר למדינה. במסגרת ההסכמים עם האיחוד האירופי למשל קיבלו חוקרים ישראלים עד כה תקציבי מחקר של כחצי מיליארד אירו, ואילו השקעת המדינה הסתכמה בכ-300 מיליון אירו. חוקרים ישראלים ניצבים בראש דירוגי החוקרים בשיתופי פעולה בין-לאומיים אחרים, כמו ב-CERN שבשווייץ ו-ESRF שבצרפת, ולכן יש לחזק את המחויבות הישראלית למיזמים אלה, להיות חלק משיתופי פעולה מדעיים כלל-עולמיים ולהבטיח את מימונם השוטף. יתרונותיהם של שיתופי פעולה אלה אינם מתמצים בקידום המדע ובאים לידי ביטוי גם בהשתלבותה של ישראל בקהילה הבין-לאומית כמדינה מובילה.

7. שימור "תחומי מחקר נכחדים"

כיום עומדים בפני הכחדה כמה תחומי מחקר בעלי חשיבות עליונה לשימור על ידי המדינה, כמו לימודי אפריקה, לימודי רוסיה ותחומי הפאונה והפלורה של ארץ ישראל, וזאת אם בשל מיעוט תלמידים ואם בשל מצוקה תקציבית. כדי לדאוג לעתידם של תחומים אלה במסגרת האקדמיה הישראלית יש לשמרם באוניברסיטה נבחרת אחת במקום לנסות ולהצילם בכל אחת מהאוניברסיטאות, ניסיון שנועד לכישלון. ריכוז מאמצים שכזה הוא בעל חשיבות עליונה, ולצורך זה יש להקים גוף ארצי שיבטיח את שימורם כאמור לפחות באחת מאוניברסיטאות המחקר.

50 סקסניאן א' (2006). ההפתקנים החדשים: יתרון אזורי בכלכלה גלובלית. פרסומי אוניברסיטת הרוורד: קיימברידג', מסצ'וסטס, ארצות הברית.

כדי לאפשר את המשכה של ההצטיינות בתחומי מדעי הרוח והחברה יש צורך בהגדלת משאבים שתאפשר הגדלה ניכרת של תקציבי הספריות לצורך רכישת ספרים וכתבי עת. בתחומי מדעי הטבע, כגון טקסונומיה, יש לתגבר את תקציבי המעבדות הייעודיות במדעים ניסיוניים אלה וכיוצא בזה.

בו זמנית על מערכת ההשכלה הגבוהה לפעול להגדלת התיאום הבין-אוניברסיטאי כדי לאפשר ניצול טכנולוגיות מתקדמות ויתר נגישות הדדית של האוניברסיטאות בתחומים שונים שאין טעם לקיימם בכמה אוניברסיטאות במקביל. הגדלת התיאום תבטיח שנושאים שאינם מיוצגים כלל יפותחו לפחות בחלק מהמוסדות.

8. שימור הרמה של מדעי הרוח והחברה

כפי שתואר בדוח זה, מצבם של מדעי החברה והרוח, ובהם מקצועות היהדות – שבהם על ישראל להיות המובילה בעולם – חמור. בשל מצב זה, שבו דיסציפלינות שלמות נעלמות ואחרות מצטמקות, ומתוך הבנה שבלא שמירה על רמה גבוהה של מדעי הרוח והחברה תאבד ישראל את ייחודה כמדינה מודרנית מתקדמת ותרבותית, יש לאמץ את מסקנות הוועדה של האקדמיה על מצב מדעי הרוח במלואן, ובנוסף לדאוג שתוקם קרן מחקר תחרותית שתתאים לצורכי מדעי הרוח והחברה בהיקף הולם. כמו כן בהתחשב בדוח מבקר המדינה שפורסם זה עתה⁵¹ ובביקורת החמורה שבו על הוראת המקצועות ההומניים בבתי הספר, יש לתגבר הוראת מקצועות אלה בחטיבת הביניים ובחטיבה העליונה.

9. הרחבת הנגישות לקבוצות אוכלוסייה נוספות

שיעורם השנתי של בוגרי המערכת האקדמית בישראל אינו מספיק כדי להביא לצמיחת ההון האנושי לעומת רוב המדינות החברות ב־OECD, שבהן שיעור האקדמאים באוכלוסייה הולך וגדל. שיעור האקדמאים באוכלוסייה עשוי לגדול במידה ניכרת אם החרדים והערבים יגדילו את מידת השתתפותם ברכישת השכלה אקדמית. על פי נתוני הסקר החברתי של הלמ"ס, רק 13% מהאוכלוסייה הלא יהודית ו־3.6% מהחרדית הם בעלי השכלה אקדמית – לעומת 27% ביתר האוכלוסייה. מאחר ששתי הקבוצות הללו הן כ־30% מאוכלוסיית ישראל, כניסתן המוגברת למסלול ההשכלה האקדמית תתרום תרומה רבה להגדלת ההון האנושי בישראל.

10. גיוס סגל צעיר לאוניברסיטאות

מספרם של חברי הסגל האקדמי הבכיר באוניברסיטאות, במונחים של משרות שלמות, ירד בין תש"ס לתש"ע ב־7.6%, ומספר המשרות של חברי הסגל האקדמי הזוטר קטן במשך אותה תקופה ב־15%. הסגל מזדקן והולך, וכיום כ־60% מחברי הסגל הבכיר הם מעל לגיל 50. יש צורך דחוף לקלוט סגל צעיר מצטיין במוסדות להשכלה גבוהה בתהליך מתמשך, כדי לחזור ולהגיע לרמה ראויה. התכנית הרב־שנתית לפיתוח מערכת ההשכלה הגבוהה מתייחסת לעניין זה, אך תיקון מצב זה אינו מספק במסגרת תכנית רב־שנתית אחת, ועליו להתפרס על פני זמן רב יותר, כדי שישפר את היחס סגל-סטודנטים ויאזן את מהלך הפרישה.

51 מבקר המדינה, דוח שנתי 63 ג לשנת 2012, עמ' 1037-1055 (לימוד המקצועות ההומניים בבתי-הספר שבפיקוח ממלכתי).

נספחים



נספחים

- נספח 1: רשימת חברי האקדמיה תשע"ג
- נספח 2: דיווחים פרטניים שנמסרו על ידי האוניברסיטאות
- נספח 3: הערכה למצוינות המדעית - פרסי נובל שהוענקו למדענים ולאנשי רוח ישראלים
- נספח 4: סקירת תרומותיהם של מדענים ישראלים
- נספח 5: רשימת המכללות האקדמיות

נספח 1: רשימת חברי האקדמיה תשע"ג

החטיבה למדעי הטבע

עדה יונת	רות ארנון, נשיאה
יהושע יורטנר	רפאל משולם יו"ר החטיבה
יוסף ירדן	עודד אברמסקי
יוסי לוי	שמואל אגמון
רפאל דוד לוי	יקיר אהרונוב
אלכסנדר לויצקי	אמנון אהרוני
אילון לינדנשטראוס	שמעון אולמן
צבי ליפקין	משה אורן
דוד מילשטיין	נוגה אלון
אברהם ניצן	יוסף אמרי
חיים סידר	צבי בן-אברהם
מיכאל סלע	יעקב בקנשטיין
הלל פורסטנברג	יוסף ברנשטיין
דב פרוהמן	יורם גרונר
אהרן צ'חנובר	עמירם גרינולד
דוד קשדן	גדעון דגן
מיכאל רבין	מרדכי הייבלום
מישל רבל	דוד הראל
אהרון רזין	אהוד הרושובסקי
מרדכי שגב	חיים הררי
יחזקאל שטיין	אברהם הרשקו
יצחק צבי שטיינברג	איתמר וילנר
יוסף שילה	מאיר וילצ'יק
דן שכטמן	יעקב זיו
שהרן שלח	משה זכאי
שלמה שמאי	אורי זליגסון
עדי שמיר	ליאו זקס
זאב תדמור	אילן חת
יגאל תלמי	רשף טנא

החטיבה למדעי הרוח

דוד נבון	ב"ז קדר, סגן הנשיאה
גדליה סטרומזה	יוחנן פרידמן, יו"ר החטיבה
מרגלית פינקלברג	שלמה אבינרי
דניאל פרידמן	ישראל אומן
מרדכי עקיבא פרידמן	משה אידל
יורם צפריר	בנימין איזק
איתן קולברג	יצחק אנגלרד
אשר קוריאט	יהודה באואר
יעקב קליין	מלאכי בית־אריה
יוסף קפלן	יהושע בלאו
אריאל רובינשטיין	יעקב בלידשטיין
יואל רק	זאב בן־חיים
דוד שולמן	מנחם ברינקר
זאב שטרנהל	אהרן ברק
בן־עמי שילוני	גדעון גולדנברג
שאול שקד	אברהם גרוסמן
אריאל ששה־הלוי	משה הלברטל
	אלחנן הלפמן
	דון הנדלמן
	סרג'יו הרט
	מנחם הרן
	שולמית וולקוב
	עמנואל טוב
	חווה טורניאנסקי
	מנחם יערי
	נילי כהן
	עמיחי מזר
	אבישי מרגלית
	נדב נאמן
	רות נבו

נספח 2: דיווחים פרטניים שנמסרו על ידי האוניברסיטאות

האוניברסיטה העברית בירושלים

תיאור מקוצר ערוך לפי מטרות האוניברסיטה:

א. האוניברסיטה העברית בירושלים היא אוניברסיטת המחקר המובילה בישראל ומבקשת להישאר מובילה ומן הקובעות את סדר היום האקדמי העולמי יחד עם הקהילה המדעית הבין-לאומית ולהימנות עם אוניברסיטאות המחקר הטובות בעולם.

הנושא שהוגדר ראשון במעלה לשם שמירה על מעמד בכורה אקדמי הוא קליטה נאותה של חברי סגל צעירים ומבטיחים. הגורם השני במעלה הוא הסטודנטים. אנו מדגישים משנה הדגשה את חשיבות הסטודנטים כחלק מן הקהילה האקדמית לקיום רב-שיח מחקרי עמם במסגרות ההוראה השונות. תכניות לימודים ותיקות וחדשות שנבנו לעידוד מצוינים זכות להיענות רבה ומכשירות עתודות חוקרים ומנהיגים. לשם מיצוי נכון של הלימודים המתקדמים באוניברסיטה, לימודי המוסמך והדוקטור, נבנות עתה באוניברסיטה מסגרות הלימוד של "בתי"ס ללימודים מתקדמים" שיש בהן ליווי בהדרכה, בקורסים, במסגרות לימוד מובנות ובסיוע כספי.

ב. בחינה עצמית על פי אמות מידה בין-לאומיות שונות וערנות לתוצאות המדדים השונים הנהוגים בעולם, הבוחנים את הישגים של חוקרי האוניברסיטה העברית. הללו מצביעים על כך שהאוניברסיטה עומדת במשימה. לראיה, האוניברסיטה נמצאת כיום בדירוג שיא על פי מדד שנחאי (57) והיחידה בישראל מבין מאה האוניברסיטאות המובילות בעולם.

הדור החדש של החוקרים הצעירים מתבלט מאוד בזכייה בקרנות תחרותיות, הן במדעים העיוניים והן במדעים הניסויים. לדוגמה, האוניברסיטה העברית ממוקמת במקום הרביעי באירופה בזכות של חוקריה הצעירים במענקי ה-ERC. בנוסף, אחד מההישגים הגדולים של המדע בישראל לאחרונה הוא הזכייה של פרופ' אילון לינדנשטראוס ממכון איינשטיין למתמטיקה באוניברסיטה העברית במדליית פילדס. פרס גרדנר לשנת 2011 הוענק לפרופסורים חיים סידר ואהרון רזין, על תרומתם לטיפול במחלת הסרטן. פרופ' ברוך מינקא הוא הזוכה בפרס הנשיא אסטוריאס לשנת 2010 בקטגוריית המחקר הטכנולוגי המדעי על עבודתו בחקר הבסיס המולקולרי של הכאב.

המצוינות של האוניברסיטה העברית באה לידי ביטוי גם במספר הגדול של חברי הסגל אשר זכו בפרסים יוקרתיים כגון פרס ישראל, פרס וולף ופרס רוטשילד. בשנה האחרונה בלבד זכה פרופ' דוד קשדן בפרס ישראל במתמטיקה כמו כן זכו בפרס רוטשילד שלושה מדענים של האוניברסיטה העברית – פרופ' רפי משולם, פרופ' חיים סידר ופרופ' גיל קלעי, ופרופ' יעקב בקנשטיין זכה בפרס וולף.

תשומת לב מיוחדת ניתנת עתה לקשרים האקדמיים עם סין, הודו, יפן, דרום-קוראה, טייוואן וסינגפור. הסכמים לשיתופי פעולה נחתמו, קבוצות מחקר משותפות החלו לפעול, נערכו סדרות של מפגשים עם הנציגים הרשמיים של ארצות אלה בישראל ועם נציגי ישראל שם, זאת כדי להגביר את קשרי המחקר ולעודד הגעת תלמידים משם לכאן.

תכניות ההוראה למוסמכים מארצות מתפתחות מתכוננות להרחבה רבה של פעילותן בסיוע גורמים ממשלתיים ופילנתרופיים.

ג. השיח שבקהילה האקדמית של האוניברסיטה ממוקד במגמה לפתח מחקר פורץ דרך, להעמיד את מנהיגות העתיד בתחומי החיים השונים ולטפח את הדורות הבאים של מדענים וחוקרים מובילים בכל תחומי הדעת.

המחויבות למחקר ולהכשרת הדורות הבאים של החוקרים מתבטאת גם במעורבות חברי הסגל האקדמי של האוניברסיטה בעיצוב תכניות הלימודים לחטיבות הלימודים העליונות בבתי הספר,

ובפעולות הוראה לתלמידי בתי ספר ולמוריהם (עם אלה נמנים מקרים שבהם אין מסה קריטית להוראה איכותית בבתי ספר, הכשרת מורים למקצועות היהדות בבתי הספר התיכוניים הממלכתיים, בניסיון להרחבת היריעה להוראת המתמטיקה, ושותפויות שונות עם מוזיאון המדע).

בתחומי הממשל, החברה והמשפט נבנו תכניות מתקדמות לתלמידים מצטיינים שאינם מתכוונים להקדיש חייהם למחקר אך הם נכונים לשאת בעמדות הנהגה מקצועיות.

ד. האוניברסיטה ממשיכה להיות מחויבת לחקר התרבות והמורשת היהודית ושימורה, כיאה לשמה ובהתאם לרשום בחוקת האוניברסיטה. המכון למדעי היהדות ע"ש מנדל והמכון ליהדות זמננו ע"ש הרמן נמנים עם מכוני המחקר הרבים מהם יוצאות מדי שנה יזמות המכוונות להתמודד עם תחומי מחקר חדשים. הסטנדרט הגבוה של מחקר מדעי היהדות משלב מיומנות פילולוגית עם תעוזה מחקרית המקיפה תחומי יצירה שונים, כגון תכנית רביבים ותכנית מלטון. בי"ס קיץ לתלמידי מחקר מצטיינים במדעי היהדות מן הארץ והעולם יפעל במכון ללימודים מתקדמים במתכונת חדשה החל מקיץ תשע"ב.

כתבי העת הוותיקים במדעי היהדות יוצאים עתה בפורמט דיגיטלי ומאמרים בהם מתורגמים לקוראים באנגלית.

מעבר לזאת פועלת האוניברסיטה להבראת מדעי הרוח על ידי השקעה חסרת תקדים במדעים אלה ובפיתוח בית ספר מנדל ללימודים מתקדמים במדעי הרוח. קרן מנדל העמידה לצורך זה סך של 1.2 מיליון דולר.

ה. האוניברסיטה העברית היא מוסד אקדמי פלורליסטי, המטפח מדע ודעת למען טובת האנושות כולה, בסביבה חופשית מאפליה ודעה קדומה.

באוניברסיטה העברית פועלת קהילה שוקקת של סטודנטים יהודים וערבים, חילונים ודתיים, לידי הארץ וסטודנטים מכ-70 מדינות מרחבי העולם ופועלים בה כיום כ-40 תאים במגוון נושאים פוליטיים וחברתיים.

האוניברסיטה פועלת לשוויון מגדרי באמצעות אמנה שהיא חלק מתשומת הלב המיוחדת הניתנת עתה לנושא זה והיא מלווה בסדרת פעולות להעצמת תלמידות המחקר, לסיוע ביציאה להשתלמויות בתר־דוקטורט, לקבלת חברות סגל צעירות, לליווי חברות הסגל בכל שלבי הקידום שלהן ולייצוג הנאות של נשים בגופים מקבלי ההחלטות באוניברסיטה. כמו כן מתקיים באוניברסיטה סיוע לסטודנטים ערבים עוד קודם לתחילת לימודיהם ובמהלך הלימודים. בנוסף, החל השנה לפעול פרויקט שנועד לשלב תלמידים אתיופים באוניברסיטה במטרה להגדיל את מספרם בשיתוף עם מכון פוירשטיין לקידום כושר הלמידה.

ו. האוניברסיטה העברית מכוונת להיות קהילה אקדמית דינמית ותוססת, מחויבת למחקר מדעי קפדני וחדשני, שיקרין מאורו על החברה בישראל ובעולם.

אנו מנסים לפתח את המחקר הביולוגי בכלל והרפואי בפרט במסגרת תכנית הפיתוח הממשלתית לירושלים, תכנית "מרום".

במטרה להנגיש את נכסי הידע של אלברט איינשטיין שבבעלות האוניברסיטה העברית, האוניברסיטה השיקה אתר מורחב של ארכיון איינשטיין ברשת ובו קטלוג מלא של כל 80 אלף המסמכים שברשותה, שקשורים לפיזיקאי הנודע. נוסף על כך הרחיבה האוניברסיטה את מיזם הדיגיטציה של הארכיון, שכולל כעת 2500 מסמכים שונים. האתר משך קרוב למיליון מבקרים עד עתה.

ז. האוניברסיטה פועלת וחייה בקהילה ירושלמית מגוונת, משרתת את הקהילה ומנסה להגיע לשדרות רבות של החברה בישראל.

למסגרת הוותיקה של קשרי "עיר-אקדמיה" נתוספו קשרי עבודה ומפגשים עם המכללות האקדמיות

הפועלות בירושלים לשם תיאום פעילות, יזמות לימוד ולאחרונה בהקמת תואר דוקטור חדש בשת"פ בין האקדמיה למוסיקה והאוניברסיטה.

פעילות חוץ-קוריקולרית תרבותית נוסדה בין העירייה לבין האוניברסיטה במטרה להנגיש את העושר המדעי-תרבותי-רוחני לציבור הרחב, ובמסגרת זאת ניתנות הרצאות במרחב העירוני: בדירות סטודנטים, חברי סגל ובמוסדות תרבות בעיר.

הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

הטכניון חוגג השנה את יובל ה-100 להנחת אבן הפינה לבניינו ההיסטורי בהדר הכרמל בחיפה. הטכניון אשר הוקם על פי החלטת הקונגרס הציוני ב-1905 כדי להכשיר מהנדסים אשר יעזרו בבנין הארץ, הפך ברבות הימים לאחד המוסדות המדעיים-הנדסיים המובילים בעולם. הוא תופס מקום מיוחד בין האוניברסיטאות בישראל בכך שהוא ממוקד בהוראה ובמחקר בהנדסה, במדעים וברפואה. הטכניון רואה חשיבות עליונה בקידום המחקר, הן הבסיסי והן היישומי בכל מקצועות ההנדסה והמדעים, וזאת לקידום הידע ולתועלת האנושות ומדינת ישראל. השילוב של מחקר בסיסי ויישומי, שכולל פיתוח טכנולוגיות חדשניות פורצות דרך, הופך את קמפוס הטכניון למרכז תוסס, בו חוקרים מדיסציפלינות שונות משתפים פעולה הן במדע בסיסי והן במחקרים יישומיים.

אם כי לחוקרי הטכניון חופש פעולה לבחור באופן עצמאי את שטחי המחקר שלהם, הנהלת הטכניון עשתה מאמץ רב בעשור האחרון לעודד שטחי מחקר רב-תחומיים בכך שהעמידה לרשות החוקרים, בעזרתם של תורמים נדיבים, משאבים משמעותיים בצידוד ובכוח-אדם עבור תחומי מחקר רב-תחומיים כמו נווטכנולוגיה וננומדעים, אנרגיה, מערכות אוטונומיות, שילובם של מדעי החיים וההנדסה, חקר המים והנדסת מחשבים. בכל אחד מתחומי המחקר הללו שותפים מספר רב של חוקרים מפקולטות שונות, היוצרים סביבה אקדמית פורייה ותוססת. בצדה של כל תכנית מחקר רב-תחומית נבנה גם מסלול לימודים במסגרת בי"ס ללימודי מוסמכים.

במקביל למגמות אלו, הנהלת הטכניון החליטה להעלות את המודעות לאתיקה במחקר – בהיבטי השונים. במסגרת זו עומד להיכנס לתוקף קוד להתנהלות ראויה במחקר ותקנון לניגוד עניינים במחקר.

חלק מהמטרה של קידום הידע הוא להביא אותו לתועלת הציבור, דבר שקורה בין היתר על ידי מסחור ההמצאות והטכנולוגיות החדשות. הטכניון שואף לשמירה על האיזון החשוב בין הפצת הידע המדעי לבין טיפוח הקניין הרוחני הכרוך בו.

עם העין לעתיד, הטכניון מודאג ממצב לימודי המדע והטכנולוגיה בארץ – במיוחד בתוצאות הנובעות מכך, כפי שזה מתבטא בקרב תלמידים בבתי ספר תיכוניים. מניסיונו, סטודנט שנה א' היום פחות מוכן ללימודים בטכניון מהסטודנטים בעשורים הקודמים. יתר על כן, אחוז קטן יותר מתלמידי התיכון פונה ללימוד במקצועות מדעי הטבע וההנדסה. הטכניון מנסה להתמודד עם זה במספר מישורים:

- התברכנו בשלושה חתני פרס נובל במדע, שלא רק מהווים דוגמה אישית לנוער, אלא גם מוכנים לתרום מזמנם בפגישות עם נוער.
- במרכז הקדם-אקדמי, ובעזרת מעבדות ניידות בצפון, אנו חושפים אלפי תלמידים לעולם המדע במסגרת תכניות שונות.
- במדעטק – המוזיאון הלאומי למדע, טכנולוגיה וחלל – אגף החינוך מספק חוויות מדעיות לתלמידים צעירים. האגף מציע גם שירותי מעבדות לבתי ספר תיכוניים בחיפה.
- חוקרי הטכניון תורמים להכנת תלמידים לאולימפיאדות השונות, וגם תחרויות בין-לאומיות אחרות כגון תכניות FIRST בתחום הרובוטיקה.

- סטודנטים מהטכניון משמשים חונכים בבתי ספר תיכוניים במסגרת פרויקטים שונים. האתגר הוא גדול, והטכניון משתף פעולה עם משרד החינוך, בפרט עם מנהל המדע והטכנולוגיה. אחת הדרכים לעודד את הנוער להצטיין במדע היא על ידי פרסום התרומות האישיות הבולטות של חוקרים, וכאן יש לציין את הדוגמאות הבאות מהטכניון מהשנים האחרונות:
- בחודש דצמבר 2011 זכה פרופ' מחקר דן שכטמן בפרס נובל בכימיה על גילוי הקוואזי-גבישים. לבד מההיבט המדעי, מאבקו להכרה בתגלית אל נוכח קהילה ספקנית מהווה תרומה משמעותית לחיזוק החתירה לאמת המדעית.
- פרופ' מחקר שלמה שמאי (שיץ) זכה בפרס שאנון לשנת 2011; זה הפרס הראשון במעלה בתורת האינפורמציה המוענק על ידי האגודה הבין-לאומית להנדסת חשמל (IEEE).
- בשנת 2011, שתי סדרות תאי גזע עובריים שמקורם בטכניון, ונובעות ממחקר של פרופ' יוסף איצקוביץ, המשמשים באחוז ניכר של המחקרים בשטח, עברו אישור שימוש של ה-NIH בארצות הברית.
- פרופ' דב לוי זכה בפרס Oliver E. Buckley לשנת 2010 של ה-American Physical Society על תרומותיו למחקר הקוואזי-גבישים ותכונות הדיפרקציה שלהם.
- פרופ' מחקר מוטי שגב זכה ב-2009 בפרס מקס בורן מטעם האופטיקל סוסייטי (OSA).
- פרופ' מחקר יעקב זיו זכה ב-2009 בפרס היוקרתית: BBVA Foundation's Frontiers of Knowledge Award in Information and Communications Technologies.

שיתוף הפעולה עם התעשייה חשוב מאוד למוסד כמו הטכניון, והוא מתבטא ברבדים רבים. התעשייה האווירית מממנת מחקר בתכנית למערכות אוטונומיות בהיקף של מיליון דולר. חברת מיקרוסופט והטכניון הקימו מרכז מחקר במסחר אלקטרוני במימון של 1.5 מיליון דולר. בימים אלו אנו עוסקים בהקמה של מרכז מחקר בהנדסת מחשבים, המתרכז במערכות לומדות, עם חברת אינטל. הטכניון פעיל ביותר בתכניות המדען הראשי: מגנט, מגנטון, נופר וקמין. חוקרי הטכניון עוסקים במחקר בהיקף נרחב הממומן על ידי משרדי הממשלה – ביטחון, מדע, בינוי ושיכון, בריאות, פנים, חקלאות ועוד. לפעילות זו, מעבר לתרומה למדע בישראל, גם תרומה מהותית לביטחון ולכלכלה של המדינה.

אחד האתגרים המידיים של הטכניון, כמו ברוב אוניברסיטאות המחקר, הוא גיוס חברי סגל חדשים כדי למלא את השורות לאחר כמעט עשור שנים של צמצומים. כל 30 המצטרפים השנה לסגל האקדמי באים לאחר השתלמות במיטב המוסדות בחו"ל ויש להם פוטנציאל לשמר ואף להעלות את מעמדו של המדע בטכניון ובישראל. אנו ממשיכים להיות פעילים בגיוס כאשר היעד הוא לצרף כ-30 חברי סגל אקדמיים בכל שנה למשך החומש הקרוב.

כדי לממש את יעדיו, חשוב לטכניון לשמור על אחוז נכבד של חברי סגל בתחום ההנדסה, כולל אלה עם ניסיון מעשי. כפי שתואר לעיל, מחקר בהנדסה ובטכנולוגיה הוא נדבך חשוב במצב המדע בישראל. יש קושי למשוך את האנשים הטובים האלה מהתעשייה, ובמיוחד כשמתווסף לכך העדר מענקי מחקר משמעותיים לתחומי ההנדסה. המחקר והפיתוח בתעשייה, לדוגמה בטכנולוגיה העלית, מושך אף הוא חברי סגל פוטנציאליים צעירים. הרעיון להקים קרן מדעית ייעודית למענקי מחקר בהנדסה מבורך, ויוכל לשפר את המשיכה של הטכניון לכישרונות אלה.

אוניברסיטת תל-אביב

אוניברסיטת תל-אביב נמצאת בעיצומו של תהליך צמיחה והתחדשות. כאוניברסיטת מחקר מובילה, אשר כוללת בתוכה מגוון רחב של דיסציפלינות ובתי ספר, מניפה אוניברסיטת תל-אביב את דגל הרב-תחומיות ובין-תחומיות, ובכך תורמת רבות לקידום המדע והמחקר בארץ.

מרכז המוח ע"ש סמי סגול יכול לשמש דוגמה בולטת לשילוב של חוקרים מדיסציפלינות שונות וממספר פקולטות בקמפוס התל-אביבי: מדעי החיים, רפואה, פסיכולוגיה, הנדסה ובלשנות. יחד מבקשים חוקרים אלה להתמודד, בין השאר, עם הצורך בפיתוח תרופות למחלות קשות כמו אלצהיימר, פרקינסון וסכיזופרניה. מעטים הם המוסדות שיכולים לעודד שיתוף פעולה ממגוון רחב כל כך של תחומים.

הוא הדין בבית הספר ללימודי סביבה, המתבסס על שיתוף פעולה בין חוקרים של מדעי החברה והרוח, משפטים וניהול, בצד חוקרים ממדעי החיים, רפואה והנדסה. על רקע פעילות מחקרית זו בתחום לימודי הסביבה הוקם באוניברסיטה המרכז לאנרגייה מתחדשת במטרה להעניק תנופה למחקר החותר למציאת מקורות אנרגייה מתחדשים ויעילים, שיחליפו את המקורות הפוסיליים (נפט, גז טבעי ופחם) המתכלים.

אוניברסיטת תל-אביב פועלת גם להקמתו של מרכז ללימודי הים התיכון, שבו יעסקו חוקרים במגוון נושאים, החל מביולוגיה ימית וחיפושי גז ועד לקשרים בין-תרבותיים שהתקיימו לחופי הים התיכון לאורך ההיסטוריה בין קבוצות אתניות ודתיות שונות.

בכנס שהתקיים לאחרונה באוניברסיטה על אבטחת מזון השתתפו חוקרים מתחומי דעת שונים כגון היסטוריון המתמחה בקשר בין חברה, כלכלה ותרבות בהקשר של היסטוריה של מזון ומשפטנית העוסקת בסוגיות של חקיקה.

יזמות אלה ואחרות לקידום המחקר הרב-הבין-תחומי מהוות ביטוי לניסיונה של אוניברסיטת תל-אביב להתמודד עם אחד מעשרת האתגרים המרכזיים, הניצבים לדעתנו בעת הזו בפני מערכת ההשכלה הגבוהה בישראל 2012. סדרה של אתגרים שהצורך באיזון עומד במרכז האופן שיש להתמודד אתם:

א. איזון בין מצוינות לנגישות – לכאורה אין עוררין: המצוינות מובילה וצריכה להנחות, ואולם לאוניברסיטאות יש גם תפקיד לאומי בהבטחת נגישות ובגיוון אוכלוסיית הלומדים בהן. גם הפריפריה, הגאוגרפית והחברתית, צריכה למצוא את מקומה באוניברסיטאות המחקר.

ב. איזון בין מוקדי מצוינות ב"מרכזים" לבין מצוינות מרכזית – מודל מרכזי המצוינות של ות"ת גורר באופן טבעי את האוניברסיטאות לתחרות שהיא חיובית. זאת, אף על פי שמצוינות של מוסד נמדדת גם, ולעתים אף בעיקר, בתחומים הרבים שיימצאו מחוץ לזרקורים של מרכזי המצוינות.

ג. איזון בין מחקר עיוני למחקר יישומי – גם כאן התשובה לכאורה ברורה: מחקר בסיסי! מנגד לאוניברסיטאות יש תפקיד גם בהעברת ידע לתעשייה, התורם גם לכלכלת המדינה ואף עוזר להרחבת הבסיס הכלכלי של האוניברסיטה.

ד. איזון בין לימודים עיוניים ללימודים יישומיים – הלימודים העיוניים, מפילוסופיה ועד מתמטיקה, הם נשמת אפה של כל אוניברסיטת מחקר. לא מדובר רק על לימודים עיוניים לצורכי העשרה של תלמידי התואר הראשון, אלא במחקר מוביל בתחומים העיוניים. ומאידך, אין אוניברסיטה שתזנח לחלוטין את הלימודים היישומיים.

ה. איזון בין-בינתחומיות למצוינות תחומית – הבין-תחומיות היא כיום מילת המפתח והיא מקדמת ללא ספק את המחקרים חוצי הגבולות, אולם בין-תחומיות שאינה נשענת על מצוינות תחומית מוצקה לא תעמוד בתהפוכות הזמן.

ו. איזון בין (מעט) תכנון מלמעלה לבין (הרבה) צמיחה מהשורשים (grassroots) – אקדמיה בנויה על צמיחה מלמטה; האתגר הוא לאתר את אותם הנושאים והתחומים שבהם נדרשים תכנון והכוונה.

ז. איזון בין הגלובלי והמקומי – הכפר הגלובלי שבו כולנו חיים משפיע גם על האקדמיה. אבל המחויבות שלנו, כאזרחי המדינה המאפשרת לנו לקיים את האוניברסיטאות הציבוריות, חלה גם על שימור הערכים המקומיים שלנו.

ח. איזון בין המחקר והוראה – מחקר הוא, מטבע הדברים, הראשון בין שווים באוניברסיטת מחקר. אבל ההוראה היא מחויבות ששומה עלינו לקיימה הן למען פיתוח דור העתיד של האקדמיה והן למען החברה בישראל. אין לקבל את ההנחה לפיה במכללות יש חשיבות להוראה ואילו באוניברסיטאות המחקר חשיבותה פחותה.

ט. איזון בין שירות לימודי לאיכות אקדמית – הנטייה (המוטעית) לראות בסטודנט כלקוח מאפילה על אינטרס חשוב לא פחות: התועלת ארוכת הטווח של הלימודים עבורו ולא פחות חשוב מכך עבור החברה, פיתוח ושגשוגה. עם זאת האוניברסיטה צריכה להבטיח חוויית לימוד איכותית כזו שיש בה גם מרכיבים של שירות.

י. איזון בין תחומים אקדמיים – באוניברסיטה מגוונת חשוב לשמור על איזון בין תחומים. האיזון הזה אינו מקודש, אבל הוא צריך להישמר בתוך גבולות נתונים.

איזון אין פירושו כמובן מתכון ברור לעשייה, שיש בו כימות לכל אחד מן המרכיבים. מדובר בהתמודדות יום-יומית מול לחצים סותרים, התמודדות המתאפשרת רק כאשר קיים חזון ברור באשר למקומה ותפקידה של אוניברסיטת המחקר הציבורית בחברה ובעולם המשתנים ללא הרף.

אולם הדגש העיקרי הוא כמובן על מצוינות. מצוינות זו מתבטאת בין השאר בפרסים בהם זוכים אנשי סגל של האוניברסיטה, לאורך כל השנים, וגם בשנים האחרונות:

הפרופסורים אברהם ניצן, אברהם טל ויאיר אהרוני זכו בפרס ישראל בשנת תש"ע.

הפרופסורים יוסי שילה, נועם שריף ומיכאל שוורץ זכו בפרס ישראל בשנת תשע"א.

רבים מאוד מחברי הסגל של האוניברסיטה הם כלות וחתני פרס ישראל משנים עברו. כמו כן רבים מבין חברי הסגל זכו בפרס רוטשילד.

פרופ' יוסי קלפטר, הנשיא הנוכחי של האוניברסיטה, זכה בשנת 2008 בפרס ויצמן היוקרתי למדעים מדויקים.

בנוסף על כך מעניקה אוניברסיטת תל-אביב את פרס דן דוד היוקרתי, בתחומי העבר, ההווה והעתיד. כל אלה מוסיפים למוניטין של האוניברסיטה.

מכון ויצמן למדע

מכון ויצמן למדע הוא מכון מחקר מדעי המהווה חלק בלתי נפרד ממערכת ההשכלה הגבוהה בארץ. ההוראה בו היא לתואר שני ושלישי בלבד. פרט לכך פועל במסגרתו מכון דודסון להוראת המדעים.

אחת השאלות המעסיקות את קברניטי מכון ויצמן היא מדוע החברה בכללותה באמצעות מוסדותיה השונים, משקיעה במחקר מדעי ולעומת זאת תומכת בתרבות ובאמנות.

לפני מספר מאות שנים המדע, בדומה לאמנות, נחשב למקצוע אינטלקטואלי יוקרתי, המעשיר את חייו הרוחניים של הפרט ואת החיים התרבותיים של החברה כולה. ברוח זו, הן המדע והן

האמנות נתמכו על ידי השליטים ועל ידי נדבנים פרטיים להנאתם הפרטית ולהנאת הציבור. כמה מאות שנים מאוחר יותר נדבנים וממשלות עדיין תומכים באמנות, אך עתה, כאמור, הם משקיעים במדע.

האם יש הבדל בין שתי הגישות?

המוסיקה, לדוגמה, עדיין נתפסת כמטרה בפני עצמה, אשר נוצרת ומבוצעת לשם הנאה והעשרה רוחנית. יצירות מוסיקליות (ולמעשה כל יצירות האמנות האחרות) מהוות מטרה, או "מוצר סופי" בפני עצמו. אנחנו אוהבים מוסיקה אם לתחושתנו היא אסתטית והרמונית, ואנו תומכים במוסיקאים מוכשרים משום שהם מסוגלים לחבר או לנגן מוסיקה שנוגעת בנושמתנו. כך זה מתנהל כבר מאות שנים.

מדע, לעומת זאת, הפך לעסק. ממשלות משקיעות במחקר מדעי בציפייה שתוצאותיו יובילו לפיתוח טכנולוגיות משופרות, תרופות טובות יותר, או מקורות אנרגיה זולים יותר. חברות פרטיות וציבוריות הולכות בעקבות הממשלות בתקווה מפורשת לרווחים. לכן המניע העיקרי להשקעה במחקר מדעי בימינו הוא כלכלי. ברוח זו מתבקשים כיום מדענים לספק תיעוד כתוב על בסיס יום-יומי על האופן אשר בו הם מחלקים את זמנם בין הפרויקטים השונים בהם הם מעורבים. זו הסיבה לכך שמענקי מחקר נתפסים כיום כהשקעה, ולא כתמיכה, והמחקר עצמו כפעילות יוצרת ערך, ולא "רק" רבת ערך.

המחקר במכון ויצמן למדע מתנהל במגוון רחב של תחומים, הנעים ממתמטיקה טהורה ועד למחקר ביו-רפואי הנושק ליישום קליני. מאז הקמתו התמקד מכון ויצמן במדע בסיסי, המונע על ידי סקרנות אינטלקטואלית. בבסיס פילוסופיה זו טמונה האמונה כי לעתים קרובות המאמץ המדעי שמטרתו היחידה היא להרחיב את גבולות הידע האנושי, ללא כוונה ליישום מוגדר, ראוי לא פחות ממחקר מוכוון מטרה ומתוכנן מראש, אשר בו כל אבני הדרך מוצבות באופן ברור לאורך שביל המוביל אל פיתוח יישום מבוקש. במילים אחרות, אנו מאמינים כי גילויים מדעיים כשלעצמם הם נכסים חשובים, אשר מעשירים את החברה. נכסים אלה – שלא כמו נכסים רבים אחרים – גדלים בהתמדה. צמיחתם יכולה להיות גדולה עוד יותר אם נתמוך במאמץ המדעי, במקום לנסות להשפיע על כיוון צמיחתו באמצעות השקעה במחקרים המנסים לענות על בעיות וצרכים עכשוויים ומוגדרים.

כיום עובדות במכון ויצמן למדע כ־260 קבוצות מחקר עצמאיות, כמחציתן בתחומים הקשורים למדעי החיים. הן נתמכות על ידי מגוון מקורות כספיים פנימיים וחיצוניים, ועומדת לרשותם התשתית הטובה ביותר האפשרית במגבלות התקציב. למדענים בקבוצות אלה ניתנת החירות לנדוד כרצונם "במרחב האינטלקטואלי" בעקבות סקרנותם. 1,000 תלמידי מחקר (לתואר שני ושלישי) וכ־300 חוקרים בתר־דוקטוריאליים משתלבים בקבוצות המחקר האלה. צוותים של מדענים, מהנדסים, טכנאים ואנשי מינהל תומכים בפעילות המדעית הזאת, כך שסך כל העובדים במכון מגיע לכ־2,700.

השאיפה העיקרית של קבוצות המחקר במכון היא ליצור גוף ידע חדש, שעליו ניתן יהיה לבסס בעתיד מחקרים נוספים. באופן כמעט פרדוקסלי, דווקא סוג זה של מחקר, המבוסס על "אקראיות" וסקרנות, הוביל בעבר לפיתוח מוצרים שימושיים שכמותם ואיכותם אינה נופלת מאלה שנוצרו בפרויקטים מכווני מטרה, המועדפים לעיתים קרובות על ידי מקבלי ההחלטות. מכון ויצמן למדע (או הזרוע המסחרית שלו, חברת "ידע מחקר ופיתוח") מחזיק בתיק הגדול ביותר של פטנטים בישראל, והמכירות ברחבי העולם של מוצרים הרשומים כפטנטים של מכון ויצמן עולות על אלה של כל יתר האוניברסיטאות בישראל ביחד.

הסיבה לכך היא, שלעתים קרובות ידע חדש מניב יישומים בלתי צפויים. כאשר מתרחש דבר כזה,

האינטרס המרכזי של המכון הוא למצוא את הערוץ המתאים ביותר למסחור התגלית. לכן במהלך 62 שנות קיומו של המכון נוצר מסלול ישיר המוביל מתמיכה במחקר בסיסי – לפיתוח יישומים. מסלול זה מדגים את האמונה החזקה שלנו: אם אנו רוצים להשקיע בטכנולוגיה, הדרך הטובה ביותר לכך תהיה לתמוך במדע.

ואכן, מכון ויצמן תומך בצורה משמעותית ביותר במחקר במדע בסיסי מתוך שאיפה למצוינות בלבד. מצוינות זו מתבטאת באחוז הזכייה הגבוה במיוחד במענקי ה-ERC, הן במענקים לצעירים והן במענקים המתקדמים, בו מכון ויצמן הוא במקום השני במספר המענקים הזוכים מכל המכוני ומוסדות המחקר וההוראה באירופה. המצוינות מתבטאת גם במספר מדעני המכון הזוכים בפרסים יוקרתיים: פרופ' עדה יונת שזכתה ב־2009 בפרס נובל, ולפני כן בפרס ישראל, פרס א.מ.ת. ופרס רוטשילד. במהלך 3–4 השנים האחרונות זכו יוסי ירון, דוד הראל וצבי ליפקין בפרס א.מ.ת. (ביולוגיה, מתמטיקה ופיזיקה בהתאמה), יורם גרונר ומוטי הייבלום זכו בפרס רוטשילד (ביולוגיה, פיזיקה), וארבעה מדענים – משה אורן, עדי שמיר, יונתן גרסל ודוד מילשטיין – קיבלו פרס ישראל. כמובן שבמהלך השנים עשרות ממדעני המכון זכו בפרסים יוקרתיים אלה. כמו כן אמיר פנאלי ועדי שמיר זכו בפרס טיורינג היוקרתי במדעי המחשב, שהוא המקביל לפרס נובל.

אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

להלן סקירה אודות המחקר המתקיים באוניברסיטה בתחומי הדעת השונים. כל חברי הסגל באוניברסיטה מחויבים לפעול למען פיתוח המחקר המדעי, להכשיר דור המשך של חוקרים ולתרום לקהילות ולחברה בנגב.

כדי לעמוד ביעדים אלו פועלת האוניברסיטה לשיפור התשתיות המחקריות והאנושיות בקמפוס. אחת המטרות שהצבנו לעצמנו היא להגדיל מדי שנה את איכות ומספר תלמידי המחקר, לקלוט חברי סגל איכותיים, לשדרג ולהקים מעבדות מחקר והוראה חדשות ולעדכן תכניות לימודים קיימות ולשקוד על פיתוח תכניות לסטודנטים מצטיינים.

במסגרת המחויבות החינוכית והחברתית, אנו שואפים באמצעות לימודי התואר הראשון לספק לסטודנטים חינוך והכשרה מקצועית שעומדים בסטנדרטים הגבוהים ביותר ולספק לסטודנטים כלים מגוונים שיאפשרו להם לרכוש ידע ויכולות מתקדמות בתחומי הדעת השונים. אנו פועלים להכין את הסטודנטים הן לקריירה מקצועית חוץ אקדמית והן להמשך לימודים אקדמיים ולספק לבעלי הישגים אקדמיים גבוהים במיוחד את המסגרת הטובה ביותר ללימודים מתקדמים. במסגרת זו בפקולטה להנדסה קיימים מספר מסלולי לימוד המשלבים לימודי תואר ראשון בשתי מחלקות, לדוגמה: הנדסת תעשייה וניהול ומתמטיקה, הנדסת מכונות ומתמטיקה, הנדסת חשמל ומדעי המחשב, הנדסת חשמל ופיזיקה והנדסת חומרים ופיזיקה.

בפקולטה למדעי ההנדסה מתקיימים מספר מחקרים שהנם פורצי דרך מבחינת המחקר האקדמי ומבחינת התרומה לתעשייה ולחברה:

- א. פיתוח חיישנים מגנטיים בעלי שיא עולמי ברגישותם לצרכים רפואיים וביטחוניים.
 - ב. פיתוח כלים ממוחשבים לזיהוי וניתוח רשתות תקשורת של תאי המוח האנושי.
 - ג. פיתוח טכנולוגיה לעיבוד אותות אופטיים המאפשרות העברת נתונים בקצבי טרה-ביט לשנייה על גבי תשתית אופטית.
 - ד. צוות חוקרים מהמרכז למערכות מדעי רפואיות שותפים בפרויקט מחקר בין-לאומי רחב היקף בתחום המחשוב הרפואי ומטרתו להעביר לחולים הדורשים ניטור רפואי עדכונים והמצאות בזמן אמת לצוות הרפואי.
- ה. מצלמה זולה ומערכת הדמאה בתחום הטרה הרץ וגלים מילימטריים.

המחלקה לניהול מלונאות ותיירות בפקולטה לניהול מדורגת במקום השישי בעולם בחקר התיירות. בנוסף, המחלקה דורגה במקום ה-11 בעולם בדירוג הכולל. במחלקה לניהול פועלת קבוצת חוקרים העוסקות בקבלת החלטות לטובת חברה בת-קיימא, קרי ביכולת של בני אדם לשמר סביבה וחברה בני-קיימא. הקבוצה מפתחת כלים ואמצעים לשמירה ולניהול נכון של משאבים סביבתיים ולטיפוח איכות הסביבה ובסוגיות הקשורות לאי שוויון ויחס לקבוצות חלשות באוכלוסייה, בעיות של צריכת יתר, סוגיות של בריאות, אחריות תאגידית, אתיקה עסקית וסביבתית, התנהגות מסוכנת והשפעותיה על החברה. המחלקה לניהול מערכות בריאות והמרכז לחקר מדיניות בריאות בנגב חוקרים את סוגיית ההתמודדות עם פערים בבריאות בנגב. המחלקה למנהל ומדיניות ציבורית חוקרת את נקודות המפגש בין החברה, המגזר הציבורי והכלכלה ושילוב אופטימלי ביניהם. הידע האקדמי הנצבר באמצעות פיתוח ובחינה של מודלים תאורטיים שונים משולב במחקר יישומי שמוביל למערבות רבה של חברי הסגל בקידום תהליכי שינוי מקומיים ולאומיים.

בפקולטה למדעי הטבע מתבצעים מחקרים בתחומי דעת שונים, המובילים ביניהם:

א. ניבוי מבנים שניוניים של RNA הוא בעל חשיבות עצומה להבנת תהליכים ביולוגיים. גישה אלגוריתמית חדשה בתכנון דינמי לניצול תוכנות "דלילות" של הקלט. הניבה את האלגוריתמים היעילים ביותר כיום בתחום זה. בהתבסס על מספר מחקרים, נבנה כלי תוכנה ואתר שמשמשים בו כיום ביולוגים מכל רחבי העולם.

ב. מחקר במסגרת מרכז אילן רמון המנתח את התפלגות הכוכבים בצביר M67 והוכחה שהצביר שייך למשפחת הצבירים הוותיקים (globular clusters), בניגוד למה שחשבו בעבר.

ג. פיתוח אסטרטגיות חדשות לטיפול בסרטן אשר יישומן יתרום לרווחתם של חולי סרטן. המחקר מתרכז בחלבון הנקרא VDAC ושנמצא במיטוכונדריון ואשר הביא לתובנה חדשה של הפונקציה של החלבון בתאו. ממצאי המחקר, המתייחסים לבקרה של תמותת התא, נוצלו להפעלת תמותת התא הסרטני.

הפקולטה למדעי הרוח והחברה היא היחידה מסוגה שמשלבת את תחומי הרוח והחברה תחת פקולטה אחת. כתוצאה מכך היא יוצרת הזדמנויות להוראה ומחקר חוצה גבולות דיסציפלינריים ושיתופי פעולה בין חוקרים בתחום הרוח ובין חוקרים בתחום החברה. בתחום חקר הספרות העברית נערכים מחקרים הקשורים ליצירה הספרותית שנוצרה במהלך 100 השנים האחרונות. בנוסף, יוצרים שהנם אנשי אקדמיה כדוגמת פרופ' עמוס עוז ופרופ' חיים באר מלמדים בפקולטה וחוקרים. בתחום הפסיכולוגיה מתבצעים מחקרים בתחומי המדע הנירולוגי והלימודים הקוגניטיביים.

במכונים לחקר המדבר נערך מחקר פורץ דרך בתחום הולכה חשמלית בתמיסות מוליכות, כגון מי מלח. תגליתם של החוקרים בתחום זה היא שבמערכות שבהן ישנו מגע בין תמיסה מוליכה ובין מוצק בעל חזירות חשמלית סלקטיבית, העברת זרם חשמלי גורמת לאי-יציבות שתגרום לזרימת נוזל. מעבר לחשיבות התופעה כתופעה פיזיקלית בסיסית, לתגלית זו השלכות יישומיות בהנדסה ביו-רפואית ובהנדסה כימית.

הפקולטה למדעי הבריאות עוסקת בין השאר במחקר ביו-רפואי עם דגש על מוקדי מצוינות ותוך שילוב ביו חוקרים בסיסיים וקליניים. חלק מהמחקרים משתלבים ותורמים לסביבה הייחודית בה פועלת הפקולטה. למשל, האוכלוסייה הבדואית בנגב מאופיינת בשיעור הגבוה בעולם של נישואי קרובים ושיעור הצמיחה מהגבוהים בעולם. לאור זאת יש באוכלוסייה זו שכיחות גבוהה ביותר של מחלות גנטיות - הן כאלו שייחודיות לאוכלוסייה זו והן כאלו שמצויות גם באוכלוסיות אחרות בעולם. בעשור האחרון קבוצת מחקר בפקולטה פרצה דרך בתחום חשוב זה: בעבודה מתמשכת ויסודית שכללה פיתוח כלים חישוביים חדשניים ועבודה מולקולרית גנטית וביוכימית יסודית,

הצליחו לפענח את הגנים הפגומים ומנגנוני המחלה של מעל 20 מחלות תורשתיות בבני אדם. מרשימה קצרה זו של מחקרים שמתקיימים במסגרת האוניברסיטה ניתן לראות שאוניברסיטת בן-גוריון כמוסד אקדמי משלבת בין מחקר פורץ דרך ובין מחקר תורם לחברה ולסביבה. החוקרים באוניברסיטה פועלים מתוך סקרנות מחקרית ומתוך רצון עז לתרום לחברה בישראל.

אין ספק שפעילותם המחקרית של חברי הסגל תורמת לפיתוח המחקר בארץ ולקידום המדע. בנוסף לפעילות המחקרית האוניברסיטה מקיימת מגוון פעילויות העשרה אקדמיות לתלמידים באוניברסיטה. מטרת פעילויות אלו לפתוח לדור העתיד צוהר למדע. פעילות זו מתבצעת גם בקרב אוכלוסיית בני הנוער הבדואים וילדים ממוצא אתיופי. שילוב אוכלוסיות אלו באקדמיה הוא יעד חברתי-אקדמי מהותי. פרות פעילות זו ניתן לראות כבר כיום כאשר בזכותן יש כיום רופאות מהמגזר הבדואי, מדענים ממוצא אתיופי ומעייירות הפיתוח.

אוניברסיטת בן-גוריון כמוסד מחקר תורמת גם לחברה. אין לנו ספק שהמחקר אינו רק מהווה תשתית לחוסנה של המדינה מבחינה כלכלית, אלא גם מבחינה חברתית. הנגשת ההשכלה הגבוהה ושילוב אוכלוסיות מיוחדות היא המפתח לחוסנה של מדינת ישראל בעשורים הבאים. מדינה שאין לה משאבים טבעיים צרכה לטפח בכל דרך אפשרית את המשאב האנושי והשקעה במדע ובמחקר היא נדבך מהותי בחוסן זה.

אוניברסיטת בר-אילן

בעשור האחרון, שבו חלו צמצומים לא קטנים באקדמיה הישראלית, סבלה גם אוניברסיטת בר-אילן ממהלכים אלו והסגל האקדמי, וגם המנהלי, קטנו. עם זאת האוניברסיטה נקטה מדיניות שמטרתה לחולל שינוי במבנה האקדמי של האוניברסיטה מתוך מגמה מכוונת לשנות את תמהיל הסגל האקדמי. לפני כעשור רק כ-24% מחברי הסגל בבר-אילן היו בתחומי מדעי הטבע, כלומר בפקולטות למדעים מדויקים ולמדעי החיים. באוניברסיטאות האחרות אחוז חברי הסגל בתחומי מדע אלו היה גבוה יותר: כ-40%-50% באוניברסיטת תל-אביב והאוניברסיטה העברית, כ-70% באוניברסיטת בן-גוריון, וכמעט 100% במכון ויצמן ובטכניון. רק באוניברסיטת חיפה האחוז היה נמוך בהרבה מזה שבאוניברסיטת בר-אילן. השינויים שנעשו באוניברסיטה הובילו למהפך מבני לא קטן שבמסגרתו כבר עכשיו כ-30% מחברי הסגל נמצאים במדעי הטבע. התכנית היא להמשיך ולהרחיב תחומים אלו ולהגיע בעוד עשור לכ-40%. השינויים הללו מתבצעים על ידי כמה מהלכים, כדלהלן:

1. במסגרת הרחבת המדע הניסויי הוקצבו עשרות תקנים חדשים למדעי הטבע הניסויים, כלומר: פיזיקה, כימיה, ומדעי החיים. במסגרת ההתפתחות הזו נקלטו עד עתה 35 חברי סגל חדשים, מעבר לתחלופה הטבעית עקב יציאת חברי סגל לגמלאות. חברי סגל אלו זכו לסלי קליטה נאותים, ותמיכה בצורה של עוזרי מחקר למעבדות המחקר שלהם. חלק לא קטן מההתרחבות הזו היתה של חוקרים חדשים שתחום עיסוקם הוא במחקר בתחום הננוטכנולוגיה.
2. לפני כ-6 שנים הוקם בבר-אילן מכון לננוטכנולוגיה וחומרים מתקדמים, במהלך דומה לזה שהתקיים באוניברסיטאות בארץ: BINA – Bar-Ilan Institute for Nanotechnology and Advanced Materials עם תום הקליטה של חברי סגל במכון לננוטכנולוגיה תפעלנה בו כ-40 מעבדות מחקר, מעל ל-300 תלמידי מחקר לתארים מתקדמים, עם מעבדות ציוד מרכזיות המשולבות עם טכנאים ייעודיים לציוד המרכזי. נבנה בניין גדול מאוד לאכלוס המעבדות הללו. הבניין נחנך לפני למעלה משנתיים והוא פעיל ותוסס. תוצאות הפעילות שלו הוצגו רק לאחרונה בפני הוועדה המייעצת הבינ"ל לננומדע וטכנולוגיה (INAB – The International Nano-science and Technology Advisory Board).

עיקרי ההישגים של המכון ב-5 שנות פעילותו הראשונות כוללים פירסום של כ-900 מאמרים מדעיים, רישום של כ-70 פטנטים חדשים, הקמת 6 חברות הזנק המבוססות על IP שפותח במכון. חברי המכון זכו במענקי מחקר ב-5 השנים בהיקף של כ-40 מיליון דולר. המכון הרחיב מאוד את תשתית הציוד העומדת לרשות החוקרים במכון ובקמפוס, (בעלות של כ-15 מיליון דולר) ומשמש באופן כללי כמרכז מצוינות פנימי של האוניברסיטה ומהווה דוגמה פנימית להגברת מסיבית של הפעילות המחקרית.

3. לפני עשר שנים נפתח באוניברסיטה ביה"ס להנדסה בראשותו של פרופ' מושיץ שעלה לארץ לצורך כך מה-ETH בציריך. ביה"ס להנדסה אושר על ידי המועצה להשכלה גבוהה להעניק את כל התארים, וכיום יש בו 20 חברי סגל אקדמי, בגילאים צעירים ובנוסף להם טכנאים, ספרייה, מעבדות הוראה ובתי מלאכה. נבנתה על ידינו תכנית פיתוח לביה"ס להנדסה לחמש השנים הקרובות, שבהן יקלטו 15 חברי סגל אקדמי חדשים כך שבתום החמש נגיע ל-35 חברי סגל. במהלך החמש הבא אנו מתכננים לקלוט עוד מספר עשרות חוקרים בביה"ס להנדסה. ביה"ס הוכר לאחרונה בסנט האוניברסיטה כפקולטה עצמאית חדשה. תחומי הלימוד בפקולטה להנדסה הם הנדסת חשמל והנדסת מחשבים, ותחומי המחקר הם: הנדסת חשמל, הנדסת מחשבים והנדסה ביו-רפואית.

4. לפני חצי שנה נפתחה הפקולטה החדשה לרפואה של אוניברסיטת בר-אילן בגליל, אשר הוקמה בצפת על פי החלטת הממשלה, מתוך מגמה לעזור בפיתוח הגליל בכלל והמערך הרפואי בגליל בפרט. 6 בתי חולים בגליל עברו להיות מסונפים לפקולטה החדשה לרפואה, אשר קלטה עד עתה גם 10 חוקרים ישראלים מצטיינים ששבו ממוסדות מובילים בחו"ל, ונמצאים במעבדות המחקר שנבנו במהלך של שבעה חודשים בטרם הפתיחה החגיגית באוקטובר 2011. החוקרים הללו הינם כולם חוקרים חדשים שהגיעו מפוסט דוקטורט וממרכזי מחקר אחרים, כולם בחו"ל. מוקם בית חיות ומתקני מחקר מרכזיים, כל זה נמצא באתר הזמני בעיר צפת. תכנית הפיתוח של הפקולטה לרפואה כוללת קליטה של עוד 30 חברי סגל אקדמי בחומש הקרוב יחד עם תומכי המחקר שלהם. התכנון של קמפוס הפקולטה לרפואה מחוץ לעיר צפת נמצא בעיצומו. התכנית היא להנחת אבן הפינה השנה והשלמת הבנייה תסתיים במהלך תכנית החומש הקרובה.

5. לפני כעשור הוקם בבר-אילן המרכז הרב-תחומי לחקר המוח. פרופ' משה אבלס עבר לאוניברסיטת בר-אילן מהאוניברסיטה העברית וניהל את המרכז מאז. לפני מספר חודשים החל בתפקיד זה פרופ' משה בר שחזר ארצה משהות ממושכת בארה"ב ולאחרונה באוניברסיטת הרוורד. נבנה בנין גדול לאיכלוס המרכז ובו נמצאות מעבדותיהם של החוקרים. תמהיל החוקרים כולל ביולוגים, אנשי המדעים המדויקים, מתמטיקאים, בלשנים, פסיכולוגים ואנשי מדעי המחשב ותחומי המחקר נפרשים ממחקר קוגניטיבי ועד מחקר ברמה המולקולרית. המרכז מקיים לימודים לתואר ראשון ולתארים מתקדמים.

הצעדים הללו אמורים, כפי שהוסבר לעיל, לשנות את תמהיל חברי הסגל האקדמי למשקל גבוה יותר בתחום מדעי הטבע הניסיוניים. עם זאת יש תכניות פיתוח נקודתיות של מקצועות נוספים במדעי הטבע כמו מתמטיקה, מדעי המחשב ואופטומטרייה. מובן שאנו לא זונחים גם את התמיכה הראויה בדיסציפלינות של מדעי הרוח, החברה, והמשפטים. בתחומים אלו האוניברסיטה שואפת בחומש הקרוב להקים מרכזי מצוינות בתחומי היהדות והמודרנה, זכויות האדם ביהדות ובחקר השפה וכן בחקר היזמות. בנוסף לכך מגייסת האוניברסיטה סגל במדעי הרוח, היהדות החברה והמשפטים תוך רתימת המגבית לתחומי לימוד אלו על ידי בניית תכניות למובילות ומנהיגות.

האוניברסיטה החלה לפני למעלה מעשור במתן מלגות קיום (מלגות נשיא) לדוקטורנטים בכל תחומי המחקר, במדעי הרוח, החברה והטבע. מהלך זה הוביל תוך עשור להכפלת מספר הדוקטורנטים באוניברסיטה ולהגברת הפעילות המחקרית.

אוניברסיטת חיפה

אוניברסיטת חיפה החלה את דרכה כאוניברסיטה עצמאית ב־1972 והתמקדה, בראשית דרכה, בתחומים של מדעי הרוח והחברה. בהמשך הוקמו הפקולטה לחינוך והפקולטה למשפטים ולצדן הפקולטה למדעי הרווחה והבריאות. בעשור האחרון השקיעה האוניברסיטה מאמצים גדולים בהקמת פקולטה למדעי הטבע, שבתוכה פועל גם בית הספר החדשני והייחודי למדעי הים. בנוסף הוקמו ביה"ס לניהול וביה"ס לטיפול באמנויות.

בארבע השנים האחרונות אוניברסיטת חיפה שמה את חקר מדעי הים כתחום מחקר בעל עדיפות עליונה. עוד טרם גילוי הגז בים, אוניברסיטת חיפה פיתחה תכניות לימודים במטרה לענות על הצרכים שהתגלו. אוניברסיטת חיפה הקימה את ביה"ס למדעי הים ע"ש ליאון צ'רני לסטודנטים מצטיינים שבמסגרתו. נפתחו תכניות לימודים שחלקן ענו בין היתר על צרכים שהתעוררו עקב גילוי הגז בים. בימים אלה אוניברסיטת חיפה מובילה קונסורציום של שש אוניברסיטאות למחקר בישראל להקמת מרכז לחקר ים תיכון.

האוניברסיטה מונה כיום כ־16,500 סטודנטים לתואר ראשון ושני ועוד כ־1,000 סטודנטים לתואר שלישי. הסגל האקדמי מונה כ־560 חברי סגל.

החזון המרכזי המניע את אוניברסיטת חיפה הוא שאיפה בלתי מתפשרת למצוינות בתחום האקדמי, המחקרי, ההוראתי והחברתי.

התחום האקדמי מחקרי

ליד העמקת גופי המדע הקיימים, אוניברסיטת חיפה חותרת ללא הפסקה ליצירת גופים מדעיים חדשים. לשם השגת מטרות אלה, אוניברסיטת חיפה לקחה בשנים האחרונות מספר יזמות:

- מתקיימים דינאים מתמשכים לזיהוי כוונות התפתחות מרכזיים שמטרתם הרחבת המסד האקדמי עליו מושתתת האוניברסיטה, וזיהוי מכלולי מחקר נושאים חדשים.
- האוניברסיטה הציבה, בשנתיים האחרונות, מיקוד בבין־לאומיות האוניברסיטה. הדבר מתבטא בפתיחת תכניות לימוד בשפה האנגלית, הבאת סטודנטים זרים ויצירת קשרים עם מוסדות בחו"ל, ועם האיחוד האירופי.
- האוניברסיטה הקימה מנגנון משמעותי של "עידוד מחקר" ובו כלולים תמריצים לחברי סגל על הגשת מענקי מחקר לקרנות תחרותיות ועל הנחיית תלמידי מחקר.
- ההעמקה המדעית והאקדמית שלנו יחד עם השינויים הצפויים במצבת משאבי אנוש של האוניברסיטה, הובילו אותנו ליישם תהליך של גיוס וקליטת סגל צעיר מצטיין. בחמש השנים הקרובות עומדים לפרוש באוניברסיטת חיפה מעל 200 חברי סגל אקדמי, ויחד עם השאיפה להגיע לכ־650 חברי סגל אנו צפויים לקלוט כ־300 חוקרים. תהליך זה יביא לשינוי משמעותי בהרכב הסגל. על כן קליטת הסגל החדש נעשית בצמוד לקריטריונים של מצוינות תוך ניסיון לזהות על ידי מכרזים בין־לאומיים את המוחות הצעירים הבולטים בארץ ובעולם בכל התחומים.
- מכיוון שכפי שנאמר לעיל, אחד מכוונות ההתפתחות שלנו הוא חיזוק והרחבת הפקולטות החדשות למדעי הטבע ולמדעי הרווחה והבריאות, השינויים האקדמיים הצפויים מחייבים בניית מעבדות מודרניות ומצוידות. האוניברסיטה משקיעה משאבים רבים, בשנים האחרונות, בבניית מעבדות מחקר והוראה בתחומים אלה ותמשיך לראות בצורך זה עדיפות ראשונה של האוניברסיטה.

התחום ההוראתי

הוראה וחיברות אנשי האקדמיה והמחקר לעתיד הם תחומים מרכזיים באני מאמין של אוניברסיטת חיפה. על כן, אנו מקפידים על העלאת רמת ההוראה בצמוד להעלאת רמת התלמידים. בנושא זה, נלקחים היום מספר צעדים:

1. בשנים האחרונות נפתחו חוגים חדשים, המיועדים לתלמידים מצטיינים כמו החוג למדעי הרפואה וכן הועלו דרישות הקבלה בפקולטות הוותיקות.
2. פותחו מנגנונים להשבחת ושמירת איכות ההוראה, כגון היחידה לשיפור ההוראה המספקת שירותים לכל הסגל האקדמי.

התחום החברתי

ליד חזונה האקדמי והתאורטי, אוניברסיטת חיפה מושתתת על הטמעת ערכים חברתיים כגון שוויוניות, צדק חברתי וטובת הכלל. לשם כך אנו נוקטים בשנים האחרונות במספר יזמות חדשניות:

1. אוניברסיטת חיפה מעריכה ומקדמת לא רק מחקר תאורטי אלא גם מחקר חברתי יישומי.
 2. אוניברסיטת חיפה דוגלת בהעמקת האחריות החברתית. בכל שנות קיומה האוניברסיטה מחוברת לקהילה – בחיפה ובצפון כולו. רוב המנהיגים הקהילתיים היום בצפון, לרבות חלק מראשי הערים, למדו באוניברסיטה במסגרת תכניות אקדמיות ומתוך רעיון להכשיר מנהיגות מקומית במטרה לגשר על פערים. לאחרונה זכתה האוניברסיטה במענק ות"ת ל"פרויקט דגל", על הצעתנו לפרויקט מקיף ומשמעותי בתחום המלחמה בהדרה חברתית באוכלוסיות חלשות באזור חיפה.
 3. הכשרת אנשי מקצוע שיבטיחו חיבור בין האקדמיה לשדה.
- לסיכום, אוניברסיטת חיפה היא אוניברסיטה צעירה, המוקמת בצפון הארץ ואשר עומדת בפני שינויים מבניים מאתגרים. שינויים אלה הם הזדמנות להרחבה והעשרת הפעילות האקדמית שלנו תוך ניסיון לקדם את איכותה ויוקרתה של האוניברסיטה בארץ ובעולם.

האוניברסיטה הפתוחה

האוניברסיטה הפתוחה (או"פ) היא מוסד ייחודי בנוף ההשכלה הגבוהה בישראל, בזכות הצלחתה לקיים איכות למדנית ומדעית גבוהה לצד קבלה פתוחה, שיטות הוראה מגוונות וייחודיות, והגמישות שהיא מאפשרת לסטודנטים.

לאוניברסיטה מבנה מיוחד, בראשה צוות מצומצם מאוד של חברי סגל אקדמי בכיר המונה כיום כ-90 חברי סגל ב-7 מחלקות אקדמיות, שהוא סגל מחקרי לכל דבר ועניין, ובבסיסה מספר גדול מאוד של סטודנטים (כ-46,000). בעוד שהפוטנציאל להרחבה של מספר חברי הסגל הבכיר קטן מאוד, פוטנציאל הגידול במספר הסטודנטים באופן תאורטי הוא בלתי מוגבל. מבנה ייחודי זה, שהוגדר עם הקמת המוסד, שירת בעבר בעיקר את מרכיבי שימור הידע והנחלתו (פיתוח קורסים והוראה) ופחות את מרכיב יצירת הידע (מחקר).

אכן, בראשית דרכה האו"פ עסקה בעיקר ביצירת בסיס רחב של ידע אקדמי איכותי. בסיס זה בא לידי ביטוי בפיתוח של כ-700 קורסים אקדמיים, רובם מבוססים על ספרים בשפה העברית, שנכתבו במיוחד עבור האוניברסיטה הפתוחה על ידי חוקרים בעלי שם מן האוניברסיטה ומאוניברסיטאות אחרות, בתחומי ידע רבים ומגוונים (מדעי החברה, מדעי הרוח ומדעים) המשמשים את כל מוסדות ההשכלה הגבוהה בישראל. מאמצים אלו תרמו להפצת הידע המדעי בשפה העברית

ולשימורו במגוון תחומים אקדמיים ובעיקר בתחומי ה־liberal arts. כך לדוגמה במדעי הרוח: בעוד שבאוניברסיטאות האחרות בישראל מספר הסטודנטים יורד משנה לשנה, מחלקות נסגרות ואתן נעלמים תחומי מחקר חשובים, באו"פ, מספר הסטודנטים במדעי הרוח נמצא במגמת עליה.

בשנים האחרונות, האו"פ ממקדמת מאמצים בחיזוק ההיבט המחקרי. בשל מאפייניה הייחודיים – מספרם המצומצם של חברי הסגל והעדר תלמידי מחקר, נדרשת חשיבה יצירתית כדי לממש יעד זה. מאמצים אלה ממוקדים בשני כיוונים: האחד, יצירה של סביבה מחקרית לחברי הסגל האקדמי באו"פ; השני, גיוס של חברי סגל אקדמי בכיר חדשים תוך שימת דגש על מצוינות מחקרית. אכן, בחמש השנים האחרונות גדל מספרם של חברי הסגל הבכיר בכ־50% (מ־60 ל־90). כל הגיוסים התבצעו באמצעות קריאות פומביות לאיתור מועמדים. הפניות נבדקות על ידי ועדות מקצועיות הכוללות חברי סגל בכיר מהאו"פ ומאוניברסיטאות אחרות, כאשר מצוינות מחקרית היא תנאי הכרחי לגיוס. מבחן התוצאה מלמד ששיטת גיוס זו הביאה לכך שכ־70% מחברי הסגל החדשים הגיעו מחו"ל, ובכך תרמה האו"פ באופן משמעותי להחזרת מוחות, תוך קליטת מדענים צעירים מצטיינים.

הדגשת המצוינות בעת גיוס חברי הסגל באה לידי ביטוי בזכייה בפרסים ובמלגות יוקרתיות, לדוגמה: בשלוש השנים האחרונות זכו ארבעה מהנלקטים הצעירים במלגת אלון במדעי הרוח. כמו כן, נציגים מקרב חברי הסגל הצעירים נבחרו לפורום הצעירים במדעי הרוח והחברה, של האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים.

ראוי לציון במיוחד האיזון המגדרי הנדיר בקרב חברי הסגל הבכיר. באו"פ לא קיימת תקרת זכוכית, ולנשים ניתן ייצוג מאוזן גם בקרב מקבלי ההחלטות.

כהחלטת מדיניות, האו"פ אינה משקיעה ואינה מפתחת תשתיות מחקר פיזיות־ניסיוניות. חברי הסגל הנדרשים לתשתית כזו לצורך מחקרם נשענים על תשתיות קיימות באוניברסיטאות המחקר בישראל על פי הסכמים במחקר עצמאי או מחקר בשיתוף פעולה עם עמיתיהם במוסד האחר. בתחומים תאורטיים, בהם ניתן לבצע מחקר עצמאי באו"פ או שיתופי פעולה. בעקבות שיתוף פעולה כזה חברי הסגל באו"פ שותפים בשש מההצעות למרכזי מצוינות (I-CORE) הנמצאים כעת בשיפוט.

בתחומי מחקר מסוימים יש לאו"פ תרומה ייחודית, ואפילו הובלה לאומית. לדוגמה: חדשנות בטכנולוגיות למידה; מדיניות, כלכלה, פוליטיקה וחברה; וחקר היחסים בין יהודים, נוצרים ומוסלמים. מכוני מחקר לנושאים אלו מאגדים בתוכם חוקרים מהאו"פ אך גם מאוניברסיטאות אחרות.

לסיכום, לאורך שנות קיומה תורמת האו"פ לקידום המדע בישראל בדרכים שונות, סימבוליות ואינסטרומנטליות כאחת, בהתוויה של נורמות חשובות לצד יצירה של תשתית אקדמית איכותית ומצוינות מחקרית.

נספח 3: הערכה למצוינות המדעית – פרסי נובל שהוענקו למדענים ולאנשי רוח ישראלים

פרופ' דן שכתמן, חתן פרס נובל לכימיה, 2011

Award Ceremony Speech⁵²

Presentation Speech by Professor Sven Lidin, Member of the Royal Swedish Academy of Sciences; Member of the Nobel Committee for Chemistry, 10 December 2011

Your Majesties, Your Royal Highnesses, Ladies and Gentlemen,

For three millennia we have known that five-fold symmetry is incompatible with periodicity, and for almost three centuries we believed that periodicity was a prerequisite for crystallinity. The electron diffraction pattern obtained by Dan Shechtman on April 8, 1982 shows that at least one of these statements is flawed, and it has led to a revision our view of the concepts of symmetry and crystallinity alike. The objects he discovered are aperiodic, ordered structures that allow exotic symmetries and that today are known as quasicrystals. Having the courage to believe in his observations and in himself, Dan Shechtman has changed our view of what order is and has reminded us of the importance of balance between preservation and renewal, even for the most well established paradigms. Science is a theoretical construction on an empirical fundament. Observations make or break theories.

"We are like dwarves on the shoulders of giants, so that we can see more clearly than they, and things at a greater distance, not by the virtue of any sharpness of sight on our part, but because we are carried high and raised up by their great size." This metaphor, first used by Bernard of Chartres and later by Newton and many others, hails back to antiquity and to the blind giant Orion who carried the servant Cedalion on his shoulders in his quest for the uttermost east where the sun would heal him of his blindness. The myth illustrates the progress of science. Each generation takes knowledge a little further because it builds on the results of its forebears. The image of the amassed knowledge as a blind giant with a seeing dwarf on its shoulders is an idealisation of science at its best: A relationship of mutual trust between the bearer and the borne, between the blind and the seeing. The giant provides established truths. The dwarf strives for new insight. Like every good metaphor this one not only describes the benefits of the arrangement, it also hints at the dangers.

The relation between the dwarf and the giant is fundamentally asymmetric. The dwarf can see, but the giant decides on which road the two shall take. The dilemma of the giant is that he is at the mercy of the dwarf, but he cannot trust him blindly. The paradigms of science are challenged daily on more or less solid grounds and the difficulty is to know when to take these challenges seriously. The dwarf faces the reverse problem. He depends on the giant, and without him he gets nowhere despite the clarity of his vision. In order to make his own choices he is forced down on the ground, to walk alone without

The Nobel Prize in Chemistry 2011 - Presentation Speech. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2011/presentation-speech.html 52 המקור:

the support he enjoyed on the shoulders of the giant. This year's Chemistry Laureate was forced to do battle with the established truth. The dwarf doesn't serve the giant by subservience but through independence.

Coming down from the shoulders of the giant is a challenge. Not least because those that remain aloft are tempted to look down at those on the ground. The disbelief that met Dan Shechtman was appropriate and healthy. Questioning should be mutual to promote the growth of knowledge. The ridicule he suffered was, however, deeply unfair. It is far too easy for all of us to remain in our lofty positions, and with lofty disdain regard the fool who claims that we are all wrong. To be that fool on the ground takes great courage, and both he and those that spoke out on his behalf deserve great respect.

Dan Shechtman:

Your discovery of quasicrystals has created a new cross-disciplinary branch of science, drawing from, and enriching, chemistry, physics and mathematics. This is in itself of the greatest importance. It has also given us a reminder of how little we really know and perhaps even taught us some humility. That is a truly great achievement. On behalf of the Royal Swedish Academy of Sciences I wish to convey our warmest congratulations, and I now ask you to step forward and receive your Prize from the hands of His Majesty the King.

Copyright © The Nobel Foundation 2011

ברופ' עדה יונת, כלת פרס נובל לכימיה, 2009

Award Ceremony Speech⁵³

Presentation Speech by Professor Måns Ehrenberg, Member of the Royal Swedish Academy of Sciences; Member of the Nobel Committee for Chemistry, 10 December 2009

Your Majesties, Your Royal Highnesses, Ladies and Gentlemen,

This year's Chemistry Prize rewards crystallographic determination of ribosome structures at a resolution so high that the positions of single atoms can be estimated and the use of these structures for atomic level clarification of how the ribosome links amino acids to proteins according to the blueprints of the genetic code and of the working principles of antibiotics attacking the ribosomes of bacterial pathogens.

All life on Planet Earth depends on the existence of proteins. Proteins speed up the life-essential chemical reactions in the human body, control them and make it possible for us to see, hear, taste, smell, feel, experience, think and move. Proteins make us less sensitive to pathogen attacks and make it possible for us to meet here today in celebration of this year's Laureates. The story of how proteins are made between the two large subunits of the ribosome, consisting of long RNA chains and about fifty proteins, is therefore a tale

The Nobel Prize in Chemistry 2009 - Presentation Speech. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/53 המקור: laureates/2009/presentation-speech.html



of the existential basis of our civilization.

In the well-ordered chaos of our genome there are thousands of DNA-based genes encoding all the different types of proteins in the human body. These blueprints for proteins in the genome are continuously copied to messenger RNAs, one for each protein. When a messenger RNA has found a ribosome, it is anchored between the ribosomal subunits, ready to be translated to the chain of amino acids which, properly folded, becomes active protein. Each one of the twenty types of amino acids enters the ribosome linked to its own class of transfer RNA molecules. On the ribosome, these transfer RNA molecules recognize the code words in messenger RNA for their own amino acid and, thus, the ribosome factory links the amino acids together in the sequences prescribed by the blueprints for proteins.

Ada Yonath's pioneering work during the 1980s laid the foundation for determination of high-resolution ribosomal structures with crystallographic techniques.

In 1998 Thomas Steitz solved the so called phase problem for the large ribosomal subunit and could thereby determine the first ribosomal crystal structure.

In the year 2000, all three Laureates presented high resolution structures of ribosomal subunits, Steitz of the large, Ramakrishnan and Yonath of the small ribosomal subunit. Thomas Steitz's high resolution structures of the large ribosomal subunit in functional complexes led to atomic level understanding of how formation of peptide bonds between amino acids is catalysed on the ribosome.

Venkatraman Ramakrishnan's crystal structures of the small ribosomal subunit in functional complexes led to atomic level understanding of how ribosome-assisted reading of the genetic code can be so accurate that virtually all proteins are made error free in accordance with the blueprints of their genes.

Ramakrishnan, Steitz and Yonath determined high resolution structures of ribosomal subunits in complex with antibiotic drugs, leading to atomic level understanding of how these drugs inhibit ribosome function and how drug target resistance may evolve. This essential knowledge is already used in the development of novel antibiotic drugs in the on-going medical struggle against the ever emerging drug resistance among bacterial pathogens.

Professors Ramakrishnan, Steitz and Yonath,

You are being awarded the Nobel Prize in Chemistry for the crystallographic determination of ribosome structures at high resolution and for the skillful use of these structures to clarify fundamental and medically important aspects of ribosome function.

On behalf of the Royal Swedish Academy of Sciences, I wish to convey to you our warmest congratulations and I now ask you to step forward to receive your Nobel Prizes from the hands of His Majesty the King.

Copyright © The Nobel Foundation 2009

פרופ' ישראל אומן, חתן פרס נובל לכלכלה, 2005

Award Ceremony Speech⁵⁴

Presentation Speech by Professor Jörgen Weibull, Member,
the Royal Swedish Academy of Sciences, Chairman of the Economics Prize
Committee, December 10, 2005.

Your Majesties, Your Royal Highnesses, Honoured Laureates, Ladies and Gentlemen,

War and other conflicts have tormented mankind since time immemorial, more often than not with great suffering and extensive material losses. Yet many societies live in prosperity founded on cooperation and peaceful competition. Why do some groups, organizations and countries succeed in promoting cooperation while others suffer from conflict? Robert Aumann and Thomas Schelling approached this age-old question against the backdrop of the cold war, when an understanding of cooperation and conflict was imperative under the threat of nuclear war. Although they approached the topic from different angles – Aumann from mathematics and Schelling from economics – they shared a vision: that game theory had the potential to reshape the analysis of human interaction.

What, then, is game theory? It is all about strategic interaction. Such interaction may occur within or between families, local communities, firms, organizations or whole countries. In most instances, no single party, or "player", can determine the outcome single-handedly; the result of interaction depends on everyone's behavior. Just as in chess or bridge, a player's best move thus depends on the moves that have been and will be made by other players. Consequently, in strategic interactions each player acts on the information at his or her disposal, as well as on expectations of others' future actions. However, others' actions depend, in turn, on their information and expectations about your actions, so all players' actions, information and expectations are intertwined in a complex and fascinating pattern. The analysis of strategic interaction, with due regard to these complexities, is precisely what game theory is all about.

This year's Laureates have offered us new insights into the dynamic aspects of conflict and cooperation. Thomas Schelling showed how one party in a conflict can often strengthen its position by overtly worsening or limiting its own options – by "burning its ships". He also demonstrated that the capability to retaliate can be more useful than the capability to resist an attack, and that uncertain and gradual retaliation can be more credible and less costly than immediate and certain retaliation. These insights have proven to be of great relevance for conflict resolution and the avoidance of war. They have also prompted new developments in economics, in particular concerning our understanding of market competition. For example, a firm can sometimes increase its profit through strategic investment in a large and expensive plant. Even if its average production costs would rise, losses due to inefficient production may be outweighed by the gains generated by competitors' less aggressive behavior.

The Prize in Economics 2005 - Presentation Speech. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/economics/laureates/2005/presentation-speech.html :54 המקור:

Robert Aumann laid the foundation for game-theory analysis of long-run relationships. In many real-world situations, interaction takes place not only once, but repeatedly, over an indefinite time horizon. An example is when competing firms make production decisions or set prices on a daily basis. Aumann's analysis of repeated games showed how repetition can enable cooperation, even among parties with strong conflicts of interest. The theory of repeated games – which continues to grow and flourish – has given us a more precise understanding of the conditions that facilitate cooperation and prevent conflict. For example, how does the level of cooperation in maintaining common-pool resources in local communities depend on their size and the frequency of interaction? Here, cooperation has positive effects. But this is not always the case. Firms in a market can more easily sustain a high collusive price level if they are few, interact frequently and are not short-sighted regarding their profit. Although such cooperation may be advantageous for the firms in question, it usually harms a third party, the consumers, for whom conflict – in the form of price competition – is more favorable.

Robert Aumann and Thomas Schelling have been instrumental in the development of game theory and in its application to the social sciences. When today's economists, political scientists and sociologists analyze issues concerning conflict and cooperation, they almost without exception rely on their contributions.

Dear Dr. Aumann, Dear Dr. Schelling: Thanks to your work, game theory has become the dominant tool for analyzing the age-old question why some groups, organizations and countries succeed in fostering cooperation while others suffer from conflict.

Dr. Aumann, you were the first to conduct a full-fledged and formal analysis of long-run relationships, so-called repeated games. The theory of repeated games has enhanced our understanding of cooperation among parties with conflicting interests. It has helped explain economic conflicts such as price wars and trade wars – as well as why some communities are more successful than others in managing common-pool resources, such as grasslands or irrigation systems.

Dr Schelling, you were the first to demonstrate the strategic importance of commitment and the difficulties associated with strategic coordination. These insights have proven to be of great relevance for conflict resolution and the avoidance of war. Your work has also prompted new developments in formal game theory and accelerated the use of game theory throughout the social sciences.

It is an honor and a privilege to convey to you, on behalf of the Royal Swedish Academy of Sciences, our warmest congratulations. I now ask you to receive your Prize from His Majesty the King.

Copyright © The Nobel Foundation 2005

פרופ' אברהם הרשקו, חתן פרס נובל לכימיה, 2004
פרופ' אהרן צ'חנובר, חתן פרס נובל לכימיה, 2004

Award Ceremony Speech⁵⁵

Presentation Speech by Professor Lars Thelander of the Royal Swedish Academy of Sciences, December 10, 2004.

Your Majesties, Your Royal Highnesses, Ladies and Gentlemen,

This year's Laureates in Chemistry are being rewarded for their discovery of life's own death-labeling system and at the same time for having solved a scientific mystery.

The cells in our bodies contain about one hundred thousand different proteins. Proteins do all the work in the cell, and proteins are directly responsible for its shape and function. One of the things proteins do is to build up the molecular machines that form our muscles; another is to form the enzymes that accelerate and control the various chemical reactions that are necessary for life.

Now, how can a cell possibly keep track of all its proteins? Protein molecules are synthesized and broken down all the time at a high rate. As to the synthesis of proteins, we have a good understanding of how this is regulated at molecular level, and the research here has been rewarded with a number of Nobel Prizes. In contrast, the breakdown of proteins in the cell has been considered less interesting, and it has attracted few researchers.

This year's Laureates in Chemistry, Aaron Ciechanover, Avram Hershko and Irwin Rose, went against the stream. They studied precisely how the breakdown of proteins is regulated in the cell. What aroused their interest was reports in the literature that the breaking down of proteins inside living cells requires energy. This seemed a paradox since everybody knew that, for example, the degradation of proteins in the intestines – that is, outside the cell – takes place with no requirement for added energy. Why is energy needed for degradation inside cells?

By studying the mechanisms of energy-dependent protein degradation in cell extracts, this year's three Laureates succeeded at the beginning of the 1980s in identifying a completely new principle for protein degradation. They discovered a system that used a type of "death label" together with three different enzymes to attach it to the proteins to be destroyed. The energy goes to activating the label and enabling the cell to control the process accurately.

The death label itself is a small protein called ubiquitin. The name comes from the Latin *ubique*, which means 'everywhere' and tells us that the protein is found in the cells of almost all organisms. Among all the proteins in the cell, the enzyme system chooses a certain unwanted protein molecule and tags it with the death label. The labeled protein

The Nobel Prize in Chemistry 2004 - Presentation Speech. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2004/presentation-speech.html : 55 המקור:

molecule is transported to a type of waste disposer inside the cell called the proteasome, which recognizes the label rather like a key fitting into a lock. Before the labeled protein is sucked into the waste disposer for destruction, the label is removed so that it can be used again to death label more proteins. Inside the waste disposer, the doomed protein is chopped to pieces. These can later be used for synthesizing new proteins. It was first believed that controlled protein degradation is used only to destroy faulty proteins, which may otherwise damage the cell. Prion diseases and Alzheimer's disease represent similar cases. Yet constantly growing research has shown something more: that it is at least as important for the cell, by destroying a protein with a certain function, to be able to regulate a biochemical reaction, rather like when you turn off a switch. We now know that controlled protein degradation regulates other very important processes in the cell as well. Examples are the cell cycle, repair of DNA damage and immune defense. In plants, the process is also needed to prevent self-pollination. And a failure in our degradation system may lead to disease.

The discovery of controlled protein degradation explains, at molecular level, the function of a regulation system that is very central for the cell. Among other things, the knowledge can be used to produce new medicines against different diseases.

Professor Ciechanover, Professor Hershko, Dr. Rose,

Your discovery of a system for controlled protein degradation in cells has fundamentally changed our way of thinking about protein degradation. We can now understand at molecular level how the cell controls a number of central biochemical processes. More reactions regulated by ubiquitin-mediated protein degradation are being identified every year. On behalf of the Royal Swedish Academy of Sciences, I wish to convey to you our warmest congratulations, and I now ask you to step forward to receive the Nobel Prize in Chemistry from the hands of His Majesty the King.

Copyright © The Nobel Foundation 2004

שמואל יוסף עגנון, חתן פרס נובל לספרות, 1966

Award Ceremony Speech⁵⁶

Presentation Speech by Anders Österling, Member of the Swedish Academy

This year's Nobel Prize in Literature has been awarded to two outstanding Jewish authors – Shmuel Yosef Agnon and Nelly Sachs – each of whom represents Israel's message to our time. Agnon's home is in Jerusalem, and Miss Sachs has been an immigrant in Sweden since 1940, and is now a Swedish subject. The purpose of combining these two prizewinners is to do justice to the individual achievements of each, and the sharing of the prize has its special justification: to honour two writers who, although they write in different languages, are united in a spiritual kinship and complement each other in

The Nobel Prize in Literature 1966 - Presentation Speech. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/literature/laureates/1966/press.html :המקור: 56

a superb effort to present the cultural heritage of the Jewish people through the written word. Their common source of inspiration has been, for both of them, a vital power.

I

Shmuel Agnon's reputation as the foremost writer in modern Hebrew literature has gradually penetrated linguistic barriers which, in this case, are particularly obstructive. His most important works are now available in Swedish under the title *I havets mitt* (In the Heart of the Seas). Agnon, now seventy-eight years old, began writing in Yiddish but soon changed to Hebrew, which, according to experts, he handles with absolute mastery, in a taut and sonorous prose style of extraordinary expressiveness. He was only twenty when he left his native town in East Galicia, where, as the scion of an old and respected family, he had been brought up in a scholarly tradition. He felt drawn to Palestine, where now, as an aged classical author, he can look back on the long struggle for national reestablishment, and where the so-called cultural Zionism possesses in him one of its finest creative champions.

Agnon's unique quality as a writer is apparent chiefly in the great cycle of novels set in his native town of Buczacz, once a flourishing centre of Jewish piety and rabbinical learning, now in ruins. Reality and legend stand side by side in his narrative art. *Hakhnasat Kalah*, 1922 (The Bridal Canopy), is one of his most characteristic stories, in its ingenious and earthy humour, a Jewish counterpart to *Don Quixote* and *Till Eulenspiegel*. But, perhaps, his greatest achievement is his novel *Oreach Nata Lalun*, 1939 (A Guest for the Night), which tells of a visit to Buczacz, the war-ruined city of his childhood, and of the narrator's vain attempts to assemble the congregation for a service in the synagogue. Within the framework of a local chronicle we see a wonderful portrayal of destinies and figures, of experience and meditation. The lost key to the prayer house, which the traveller finds in his knapsack only after his return to Jerusalem, is, for Agnon, a symbolic hint that the old order can never be rebuilt in the Diaspora, but only under the protection of Zionism. Agnon is a realist, but there is always a mystical admixture which lends to even the greyest and most ordinary scenes a golden atmosphere of strange fairy-tale poetry, often reminiscent of Chagall's motifs from the world of the Old Testament. He stands out as a highly original writer, endowed with remarkable gifts of humour and wisdom, and with a perspicacious play of thought combined with naive perception – in all, a consummate expression of the Jewish character.

II

Nelly Sachs, like so many other German-Jewish writers, suffered the fate of exile. Through Swedish intervention she was saved from persecution and the threat of deportation and was brought to this country. She has since then worked in peace as a refugee on Swedish soil, attaining the maturity and authority that are now confirmed by the Nobel Prize. In recent years she has been acclaimed in the German world as a writer of convincing worth and irresistible sincerity. With moving intensity of feeling she has given voice to the worldwide tragedy of the Jewish people, which she has expressed in lyrical laments of painful beauty and in dramatic legends. Her symbolic language boldly combines an inspired modern idiom with echoes of ancient biblical poetry. Identifying

herself totally with the faith and ritual mysticism of her people, Miss Sachs has created a world of imagery which does not shun the terrible truth of the extermination camps and the corpse factories, but which, at the same time, rises above all hatred of the persecutors, merely revealing a genuine sorrow at man's debasement. Her purely lyrical production is now collected under the title *Fahrtins Staublose*, 1961 (*Journey to the Beyond*), which comprises six interconnected works written during a twenty-year creative period of increasing concentration. There is also a series of dramatic poems, equally remarkable in their way, under the joint title *Zeichen im Sand*, 1961 (*Signs in the Sand*), the themes of which might have been taken from the dark treasure house of Hassidic mysticism, but which, here, have taken on new vigour and vital meaning. Let it suffice here to mention the mystery play *Eli* (1950) about an eight-year-old boy who is beaten to death by a German soldier in Poland when he blows on his shepherd's pipe to call on heaven's help when his parents are taken away. The visionary cobbler Michael manages to trace the culprit to the next village. The soldier has been seized by remorse and, at the encounter in the forest, he collapses without Michael's having to raise his hand against him. This ending denotes a divine justice which has nothing to do with earthly retribution.

Nelly Sachs's writing is today the most intense artistic expression of the reaction of the Jewish spirit to suffering, and thus it can indeed be said to fulfill the humane purpose underlying Alfred Nobel's will.

Doctor Agnon – according to the wording of the diploma, this year's Nobel Prize in Literature has been awarded to you for your "profoundly distinctive narrative art with motifs from the life of the Jewish people". We should be happy if you would consider this international distinction as a sign that your writing need not be isolated within the boundary of its language, and that it has proved to have the power to reach out beyond all confining walls, and to arouse mankind's sympathy, understanding, and respect. Through me, the Swedish Academy conveys its sincere congratulations, and I now ask you to receive the Prize from the hands of His Majesty, the King.

Miss Nelly Sachs – you have lived a long time in our country, first as an obscure stranger and then as an honoured guest. Today the Swedish Academy honours your "outstanding lyrical and dramatic writings, which interpret Israel's destiny with touching strength". On an occasion like this it is natural also to recall the invaluable interest you have shown in Swedish literature, a token of friendship which, in turn, has found a response in the desire of our Swedish writers to translate your work. Offering you the congratulations of the Swedish Academy, I ask you now to receive this year's Nobel Prize in Literature from the hands of His Majesty, the King.

Copyright © The Nobel Foundation 1966

נספח 4: סקירת תרומותיהם של מדענים ישראלים

מדעי הטבע

התובנה שהכלכלה היא "משחק" רציני מובילה לפרס נובל בכלכלה פרופ' ישראל אומן, האוניברסיטה העברית בירושלים

תורת המשחקים היא ענף של המדע המנתח מצבים שמעורבים בהם כמה גורמים השואפים כל אחד למטרות שונות (אך לא דווקא מנוגדות). למשל: משא ומתן מדיני או מסחרי, הרכבת ממשלות, בחירות, שביחות, מלחמה, מאבקים משפטיים, תהליכים אבולוציוניים ואף משחקים ממש, כגון שחמט, פוקר או כדורסל. בשנת 2005 הוענק פרס נובל לכלכלה לפרופ' אומן "על הגברת ההבנה של מצבי עימות ושיתוף פעולה תוך שימוש בכלים של תורת המשחקים".

עם תרומותיו של פרופ' אומן שזיכו אותו בפרס נמנה הניתוח של "משחקים חוזרים" – מודל מחשבתי לאינטראקציה ממושכת בין הצדדים. פרופ' אומן מצא שבמצבים אלה קל להגיע לשיתוף פעולה יותר מבאינטראקציה חד-פעמית. הוא חקר, בשיתוף עם פרופ' מיכאל משלר, גם מצבים של אינטראקציה ממושכת שבהם לכל צד יש מידע המוסתר מן הצד השני, למשל: במשא ומתן בין ארצות הברית לברית המועצות על פירוק נשק לא ידע אף אחד מהצדדים כמה פצצות גרעיניות יש לצד השני. אחת התובנות שגילו אומן ומשלר היא שכאשר משתמשים במידע כלשהו, הוא יתגלה במוקדם או במאוחר.

אוטומטים סופיים – אבן היסוד של מדעי המחשב פרופ' מיכאל רבין, האוניברסיטה העברית בירושלים

פריצת דרך חלוצית שהניחה את היסודות העיוניים למדעי המחשב – שהוא מרכיב מרכזי של המהפכה המדעית-טכנולוגית שהחלה במחצית השנייה של המאה העשרים, ושאנחנו היום בעיצומה – הייתה של פרופ' מיכאל רבין מהאוניברסיטה העברית בירושלים.

עם סיום לימודי הדוקטורט במתמטיקה באוניברסיטת פרינסטון הוזמן פרופ' רבין, ועמו חברו ללימודים דנה סקוט, למעבדת המחקר של חברת יבמ, אשר אך הוקמה באותה עת. הם זיהו את תורת האוטומטים כתחום חשוב למדעי המחשב, אשר היו בראשית התפתחותם, וחקרו אותו. בתוך זמן קצר הניב מחקרם תוצאות, והם כתבו מאמר אשר הכה גלים בעולם המדע ושימש נקודת מוצא לאלפי מחקרים נוספים. לימים זיכה מאמר זה, ועבודות רבות נוספות במדעי המחשב, את רבין וסקוט בפרס על שם אלן טיורינג, שהוא הפרס למדעי המחשב החשוב בעולם, ויש המכנים אותו "פרס נובל במדעי המחשב". רבין זכה עוד באלה: פרס ויצמן, פרס רוטשילד, פרס הארווי, פרס ישראל, פרס א.מ.ת ופרס דן דוד.

אוטומטים סופיים משמשים מודלים למעגלי מיתוג סדרתיים, שהם אבני הבניין היסודיות למעבדי המידע והחישוב המצויים בבסיס המחשבים האלקטרוניים, הטלפונים הסלולריים ושלל מכשירים אלקטרוניים אחרים המקיפים אותנו כיום. אפשר לומר שללא תורת האוטומטים לא היו מדעי המחשב יכולים להיווצר, וגילויים היה נקודת מפנה בהתפתחות הטכנולוגיה המודרנית.

אוטומט סופי הוא מעין מכשיר היכול להיות בזמן נתון במצב אחד מתוך מספר סופי של מצבים. האוטומט בנוי להיות מסוגל לקבל קלטים מסוימים. בהיות האוטומט במצב 'מ', ובקבלו קלט 'ק', הוא יעבור למצב 'מ₁' ויוציא פלט 'פ'. להמחשה הנה דוגמה: בבסיס המחשב המשמש לכתובת מסמך זה מצוי מעבד, שהוא למעשה אוטומט בעל מספר סופי של מצבים פנימיים. הקשת האות "ב" תגיע כקלט למעבד המצוי במצב של שירות הדפסה. המעבד יעבור למצב של מתן פקודת פלט אשר תוביל להופעת האות "ב" על צג המחשב. למעשה המעבד בנוי ממספר רב של אוטומטים סופיים

הממומשים במעגלי מיתוג אלקטרוניים סדרתיים הפועלים כאוטומטים סופיים המחוברים ביניהם. במדינת ישראל חונך פרופ' רבין דורות של מדענים חשובים ובעלי פרסום בין-לאומי אשר תרמו רבות לתורת האוטומטים, ובהם פרופ' שמעון אבן, פרופ' אברהם גינזבורג, פרופ' חיים גייפמן, פרופ' עזריה פז, פרופ' אלי שמיר ופרופ' מיכה פרלס.

חידוש חשוב ומהפכני נוסף של פרופ' רבין היה המצאת מושג החישוב הלא-דטרמיניסטי. הוא ודנה סקוט הציעו מודל של אוטומט אשר בהיות האוטומט במצב 'מ', ובקבלו קלט 'ק', הוא יעבור לאחד מכמה מצבים: 'מ_1', 'מ_2' וכולי. הם הוכיחו כי אוטומטים לא-דטרמיניסטיים אינם עולים בכוח החישוב שלהם על אוטומטים רגילים.

מושג החישוב הלא-דטרמיניסטי הביא את סטיב קוק מטורונטו לידי ניסוח השאלה המפורסמת: האם משפט רבין-סקוט נכון גם לחישובים יעילים כלליים? לאמור, האם כל בעיה הניתנת לפתרון באמצעות חישוב לא-דטרמיניסטי יעיל ניתנת לפתרון באמצעות חישוב רגיל יעיל? לשאלה זו השלכות מעשיות מרחיקות לכת. למשל, תשובה חיובית תביא לשבירתן של כל שיטות הצפנת המידע המצויות בשימוש כיום. בגלל חשיבותה היסודית נכללה בעיה זו בעשר "בעיות המילניום", ועל פתרונה יוענק פרס של מיליון דולר.

בזכות עבודתו החלוצית של פרופ' רבין, שהחלה כמחקר בסיסי במתמטיקה טהורה, ישראל נמנית עם המדינות המובילות בעולם במדעי המחשב. יישום התאוריות המדעיות הללו אפשר לישראל להיות בחזית ההיי-טק, מדעי הרפואה והחדשנות במערכת הביטחון.

פרופ' רבין חיבר את העבודה הראשונה על מורכבות של חישובים, נושא מרכזי במדעי המחשב. כמו כן הציע שימוש של אקראיות לפתרון בעיות חישוב, בין השאר בדיקה של מספרים טבעיים גדולים בדבר ראשוניותם. בכך אפשר את תורת ההצפנות המודרנית. לאחרונה פיתח יישומים של הצפנות לתהליכי מכירות פומביות.

אלגוריתם למפל-זיו - הסטנדרט הבין-לאומי להעברת מידע

פרופ' יעקב זיו ופרופ' אברהם למפל, הטכניון

מהו האלגוריתם?

העולם המודרני לא היה יכול להיווצר - ולא להתקיים - ללא תקשורת אלקטרונית. הסחר, הייצור, השירותים, המערכת הפיננסית, מערכת הביטחון, האינטרנט, הפייסבוק, התחבורה האווירית, הימית, היבשתית, תחבורת החלל - כל אלה לא היו מחזיקים מעמד ללא תקשורת אלקטרונית, ולו זמן קצר, והיו קורסים. כל אלה דורשים העברת נתונים בכמויות אסטרונומיות. המידע הזה עובר בחוטים, בסיבים אופטיים ובחלל, ממקום למקום, במהירות האור. אילו היינו צריכים להעביר את כל המידע הזה בצורתו הגולמית - כלומר כפי שהוא - היה הדבר לא יעיל עד בלתי אפשרי. את כמות המידע העצומה הזאת, הזורמת בעולם ממקום למקום, יש "לדחוס" בצד ההזנה ו"לפתוח" - או לפענח - בצד היציאה.

שני מדענים ישראלים, פרופ' יעקב זיו ופרופ' אברהם למפל, פיתחו בשנת 1977 אלגוריתם לדחיסת מידע, הנקרא על שםם - "האלגוריתם למפל-זיו" (הידוע בעולם כ-LZ algorithm) - שדחוס את המידע ביעילות, ולא זו אף זו: הם הוכיחו כי ככל שסדרת הנתונים ארוכה יותר, יעילות הדחיסה גוברת, וכאשר הסדרה ארוכה מספיק, אין דרך יעילה משלהם לדחיסת הנתונים. על כן הפך האלגוריתם הזה לסטנדרט הבין-לאומי. כל פיסת מידע המועברת בעולם - אם זה בשיחת טלפון, אם בחיפוש באינטרנט, אם בהעברת כרטיס אשראי בחנות ואם בהעברת כסף מחשבון לחשבון - נדחס על פי האלגוריתם של למפל-זיו. בלא האלגוריתם שלהם לא היה העולם המודרני מתאפשר. עבודה

זו ועבודות רבות אחרות של פרופ' זיו זיכו אותו בפרסים הבינלאומיים החשובים ביותר בתורת התקשורת, ובהם פרס מרקוני ופרס שנון, וכן בשני פרסי ביטחון, פרס רוטשילד ופרס ישראל.

איך זה עובד?

אלגוריתם למפל-זיו מאפשר להגשים את דחיסת המידע בדרך יעילה ופשוטה, והוא מבוסס על החלפת מחרוזות של אותיות במילות צופן שהן מחרוזות של סיביות. בכל עת שהאלגוריתם מזהה מחרוזת אותיות חדשה, שלא הופיעה עד כה, הוא מחליפה במילת צופן (קוד) מתאימה ולאחר מכן מוסיף את מחרוזת האותיות הזאת בליווי מילת הצופן שלה לטבלה (או מילון). כאשר מופיעה מחרוזת זהה לזו שנית, היא מקודדת למילת הצופן המתאימה. וכך בעקבות חזרות רבות בכל מידע מעשה ידי אדם, הסדרה המקורית "נדחסת" או מקוצרת, והדבר מאפשר העברת מידע יעילה יותר (כל עוד אפשר לפענחה מעברו השני של הערוץ!). [256 מילות הצופן הראשונות מתורגמות לסדרות סיביות באורך של 8 סיביות כל אחת, ומילות צופן באורך של עד 12 סיביות יכולות לייצג נאמנה מילון המכיל כ-4,000 מחרוזות שונות.

לדוגמה: המשפט "אני מהנדס ולכן אני מהנדס ורק אם אני מהנדס" מתורגם לכניסות הטבלה האלה: "אני מהנדס (*) ולכן (**) ורק אם (***)". לאחר הופעה ראשונה של "אני מהנדס" מחרוזת זו מוחלפת במילת הצופן המתאימה ל-*. בצורה דומה, ** מסמן את הערך "ולכן" וכו', וכל סימון כזה: *, **, ***, ... מתורגם לקוד בינרי מתאים. לכן ברור מדוע המידע המקודד יכול להיות מקוצר ביחס למחרוזת נתונה כאשר היא חוזרת על עצמה. מתברר שככל שהחזרות רבות יותר, תהיה הדחיסה יעילה יותר.

זיהוי המחרוזות נעשה בדרך פשוטה בתכנה מתאימה, שבדקת אם מחרוזת המידע שלא קודדה עד כה מופיעה במילון אם לאו. יתרה מזאת, כיוון שהאלגוריתם משלח בהופעה ראשונה של מחרוזת את המחרוזת עצמה בלויית מילת הקוד המתאימה, הרי שהמידע שמתקבל יכול לשחזר את המידע המקורי ולבנות לעצמו באופן שוטף מילון הזהה למילון המקורי ללא הצורך לשדר את תוכן המילון מראש.

בשל פשטותו של האלגוריתם ובשל קלות מימושו השימוש בו ובנגזרותיו נרחב ומגוון לצורך העברה יעילה ומהירה של מידע וכן לאגירה יעילה של מידע בזיכרונות מחשבים ספרתיים.

שני היתרונות העצומים של האלגוריתם של זיו-למפל הם אלה: האחד, העברת המידע נעשית ללא "רעש", כלומר בלי שגיאות (לו היה "רעש", הייתה הבנקאות למשל קורסת), והשני – ככל שכמות המידע גדולה יותר, יעילות הדחיסה גדולה יותר (!)

מדוע להצפין?

פרופ' עדי שמיר, מכון ויצמן למדע

אין לשער איך הייתה פועלת מערכת הבנקאות המודרנית ללא אפשרות הצפנת מידע. פרופ' עדי שמיר הוא אחד האנשים שתרים את התרומה הגדולה ביותר בתחום ההצפנה (קריפטוגרפיה), ועבודותיו נוגעות בכל היבט של התחום. פרופ' שמיר קיבל תואר ראשון מאוניברסיטת תל-אביב ותואר שני ושלישי ממכון ויצמן למדע. את עבודת הדוקטור עשה בהנחייתו של פרופ' זוהר מנה. עם סיום לימודיו עבד בשנים 1977–1980 במכון הטכנולוגי של מסצ'וסטס, ובשנת 1980 הועלה לדרגת פרופ' חבר במכון ויצמן, במחלקה למתמטיקה שימושית ומדעי המחשב. אחת מעבודותיו הראשונות היא פיתוח האלגוריתם, הידוע בשם RSA (ראשי התיבות של שלושת מפתחיו – ריבסט, שמיר ואדלמן), המאפשר להצפין מידע באמצעות מפתח ציבורי. RSA נמצא כיום בשימוש רחב בעולם לצורך פעולות בטוחות באינטרנט בין בנקים לחברות אשראי. תרומות חשובות אחרות של פרופ' שמיר הן מושג "חלוקת הסוד" ורעיון השימוש בפונקציות אקראיות ליצירת שיטות חתימה יעילות, וכן בחינת פרוטוקולים ושיטות הצפנה וחשיפת חולשותיהן. אלגוריתם נוסף

שפיתחו הוא ועמיתיו במכון ויצמן למדע מאפשר את הפעלתו של כרטיס חכם המקנה את הגישה לשידורי לוויין למנויים בלבד.

הישגיו של פרופ' שמיר זיכו אותו בפרסים יוקרתיים – פרס ארדש, פרס רוטשילד, פרס ויצמן ופרס ישראל – וכן פרס טיורינג במדעי המחשב, הנחשב למקבילו של פרס נובל.

סימטרייה בעולם החלקיקים

פרופ' יובל נאמן, אוניברסיטת תל-אביב, ופיזיקאים עמיתים

החיפוש אחר אבני היסוד של כל החומר ביקום עמד במרכז המחקר הבסיסי בפיזיקה במשך כל המאה העשרים, ועודנו נמשך. האטום התגלה בסוף המאה התשע-עשרה, הגרעין כעשרים שנה לאחר מכן, והחלקיקים שבגרעין לאחר עוד שני עשורים. בסוף שנות החמישים הולך הניסיון להבין את תכונות החלקיקים הבסיסיים שבתוך הגרעין למבוי סתום. כל ניסיון לחדור לתוך החלקיקים הוביל לגילויים של חלקיקים נוספים, מבלי להבהיר מה קורה בתוך החלקיקים הידועים ומבלי לחשוף את הכוחות הפועלים שם. היה ברור שדרושה פריצת דרך באחד משני כיוונים: הכיוון הראשון היה לנסות מיון שיטתי של כמאה סוגי חלקיקים שנתגלו, והכיוון השני היה לנסות ולגלות תת-חלקיקים בתוך הפרוטון והניטרון ובתוך כמאה החלקיקים האחרים הדומים להם. כמה וכמה פיזיקאים ישראלים, ובהם פרופ' יובל נאמן, פרופ' צבי ליפקין, פרופ' דוד הורן ופרופ' חיים הררי, תרמו תרומה חלוצית לפתרון מבנה החומר. עוד בשנות השישים הם ניבאו את קיומם של חלקיקים שנתגלו ניסיונית בשנות השבעים המאוחרות.

בשנת 1961 היה פרופ' יובל נאמן הראשון שהצליח בגיבוש שיטת מיון מרתקת, המבוססת על סימטרייה מסוימת בין עשרות החלקיקים שנתגלו. אותה שיטה התגלתה, זמן קצר מאוד לאחר מכן, ובאופן בלתי תלוי, על ידי פיזיקאי החלקיקים הדגול מארי גל-מן. הסימטרייה שהציעו נאמן וגל-מן ניבאה, בין השאר, את קיומו של חלקיק מוזר ומיוחד בתכונותיו, ה"אומגה מינוס", וזה אמנם נתגלה ב-1964 כאשר כל תכונותיו תואמות בדיוק רב את תחזיות המיון של נאמן וגל-מן. תגלית זו אישרה ללא כל צל של ספק את נכונות ההשערה בדבר שיטת המיון החדשה, ובכך דמתה השיטה למעשהו של מנדלייב, כמאה שנה קודם לכן. פרופ' נאמן פרסם את עבודתו במסגרת הדוקטורט שלו ב"אימפריאל קולג" שבלונדון ומאוחר יותר הקים דור שלם של מדענים צעירים בישראל באותו תחום, וייסד את המחלקה לפיזיקה של אוניברסיטת תל-אביב.

עוד בטרם התגלה ה"אומגה מינוס" כבר נשאלה השאלה אם יש בתוך החלקיקים תת-מבנה שהוא המפתח להבנת שיטת המיון. ב-1963 שיערו גל-מן, ובאופן בלתי תלוי אמריקאי צעיר בשם ג'ורג' צווייג, שכל מאה החלקיקים הידועים אכן מורכבים משלושה סוגים של אבני יסוד, שאותן כינה גל-מן "קוורקים". בניסויים שנעשו בחמש השנים הבאות לא היה זכר לקיומם של אותם קוורקים דמיוניים. אם הם אמנם קיימים אין כל הסבר סביר לאי-התגלותם. פרופ' צבי ליפקין ועמיתיו במכון ויצמן למדע פרסמו עבודות, לכאורה תמוהות, שהכו גלים גבוהים. הם "דילגו" על השלב החשוב של גילוי הקוורקים והחליטו לצאת מתוך הנחה שהקוורקים קיימים ולראות מה אפשר לנבא בנוגע לתהליכים שונים בין החלקיקים. רבות מהתחזיות שלהם התאמתו וסיפקו עדויות עקיפות לקיומם של הקוורקים, ואולם באותה תקופה איש לא היה מסוגל להבחין בהם או להסביר את העדרם.

בסוף שנות השישים עיקר המאמץ העיוני והניסיוני היה לחקור את מאות תהליכי ההתנגשות בין החלקיקים הרבים, ופרופ' דוד הורן מאוניברסיטת תל-אביב (ששהה אז בקליפורניה) ועמו פרופ' כריסטוף שמיד משווייץ גילו במפתיע ששני מנגנוני התנגשות שהיו לכאורה שונים לחלוטין זה מזה, הם פנים שונות של אותו מנגנון. התופעה כונתה בשם "הדואליות של הורן ושמיד". מיד לאחר מכן פיתח פרופ' גבריאל ונציאנו ממכון ויצמן למדע (כיום במעבדת CERN בז'נווה) נוסחה מתמטית מזהירה המתארת את הדואליות הזאת, ופרופ' הררי ממכון ויצמן למדע, ובאופן בלתי

תלוי יונתן רוזנר באוניברסיטת תל-אביב (כיום פרופסור באוניברסיטת שיקגו), הראו שהדואליות ניתנת להסבר פשוט רק אם הקוורקים קיימים, ובכך סיפקו סיבה נוספת להאמין בקיומם של אלה, אף על פי שטרם נתגלו אז.

שנות השבעים הביאו סוף סוף לגילוי עקיף של הקוורקים בניסויים שונים ולתאוריה שהסבירה מדוע הם לא התגלו במישרין זמן רב קודם לכן. בהמשך התגלה סוג רביעי של קוורקים, ופרופ' הררי ניבא ב-1975 קיומם של קוורק חמישי ושישי שאמנם נתגלו לאחר מכן, וגם שיער בשנת 1979 (ללא כל הוכחה ניסיונית עד לרגע זה) שגם הקוורקים והאלקטרון מורכבים מאבני בניין יסודיות עוד יותר. באחרונה, ב-2012, נתבררנו על גילוי חלקיק שהוא כנראה חלקיק היגס, בניסוי שנעשה ב-CERN בז'נווה, בהשתתפות קבוצות מחקר ניסיוניות ממכון ויצמן למדע, אוניברסיטת תל-אביב והטכניון. זהו צעד נוסף במירוץ הבלתי פוסק להבנת מבנה החומר.

המדליה הלאומית למדעים מידי הנשיא אובמה

פרופ' יקיר אהרונוב, אוניברסיטת תל-אביב

כבר במסגרת עבודת הדוקטור שלו בשנת 1959 בטכניון, בהדרכת פרופ' דייוויד בוהם, גילה פרופ' יקיר אהרונוב תופעה במכניקת הקוונטים, שלפיה חלקיק טעון מושפע משדות אלקטרומגנטיים באזורים שאליהם החלקיק אינו מגיע כלל. תוצא זה נקרא כיום על שמו - "אפקט אהרונוב-בוהם". הוא זכה על הישגיו במספר רב של פרסים, כולל פרס ויצמן, פרס רוטשילד, פרס ישראל, מדליית פרנקלין, פרס היולט-פיקארד, פרס וולף, פרס א.מ.ת, ובשנת 2010 זכה לקבל מידי הנשיא אובמה את הכבוד הרב ביותר בארצות הברית - המדליה הלאומית למדעים.

ומה מלמדות אותנו התגליות החשובות של אהרונוב?

1. אפקט אהרונוב-בוהם

האפקט מראה שבתורה הקוונטית, בניגוד לתורה הקלאסית, כוחות שנמצאים במקום אחד יכולים להשפיע על חלקיקים שמצויים בתחום אחר שבו הכוחות אינם קיימים. במילים אחרות: בתורת הקוונטים קיימים אפקטים לא-לוקליים.

2. אפקט אהרונוב-כשר

אפקט אהרונוב-בוהם הראה שחלקיקים טעונים נתונים להשפעה לא-לוקלית מכוחות המרוחקים מהם, ואילו אפקט אהרונוב-כשר הכליל את התוצאה גם על חלקיקים לא טעונים.

3. מדידות חלשות

בניגוד למה שהאמינו עד התגלית הזו, דהיינו שכל מדידה בתחום הקוונטי חייבת לשנות את המערכת הנמדדת במידה לא צפויה, הסוג החדש של מדידות, אשר נקראו "מדידות חלשות", יכול לבדוק תכונות של מערכות קוונטיות מבלי לשנות את מצבן. כיום נעשות מדידות כאלו במעבדות רבות בעולם, והן מאפשרות לגלות תכונות חדשות שלא צפו אותן, ויש להן ערך חשוב גם מבחינה קונצפטואלית וגם מבחינה מעשית.

4. ניסוח חדש של תורת הקוונטים

בניסוח זה הראה פרופ' אהרונוב שאפשר לתאר כל מערכת קוונטית ברגע נתון לא רק בעזרת אינפורמציה שנמצאה בעבר אלא גם בעזרת אינפורמציה נוספת שתתגלה רק בעתיד. פורמליזם זה מצביע על הצורך בגישה חדשה להבנת הזמן, וכיום הוא ממשיך בניסיון לבדוק את ההשלכות של ההבנה המפתיעה הזאת.

האם חור שחור הוא אכן שחור?

פרופ' יעקב בקנשטיין, האוניברסיטה העברית בירושלים

קיומם של חורים שחורים נהגה לראשונה על ידי הפיזיקאי הבריטי ג'ון מייקל כבר ב-1790. מייקל הסיק מתוך חוק הכבידה של ניוטון שאפשר שקיימים עצמים בעלי כוח משיכה מספיק, שאפילו אור לא יוכל להימלט מהם (מכאן הכינוי "חור שחור"), אך הרעיון לא זכה לתשומת לב מרובה, בעיקר משום שבאותו זמן לא רווחה בקרב הפיזיקאים הדעה שאור מושפע מכבידה.

הבנה אמתית של חורים שחורים מסופקת במסגרת תורת היחסות הכללית של איינשטיין. תיאור מתמטי של חורים שחורים במסגרת היחסות הכללית מורכב, אך אפשר להבין את הרעיון באופן פשוט, ולפיו מרחב מתעוות בנוכחות מסה. במצב של חור שחור המרחב כה מעוות, עד כי כל מה שנופל לחור שחור אינו יכול לצאת ממנו. יש לציין כי כל גוף, אם נדחוס אותו מספיק, יהיה חור שחור. לדוגמה, אם נדחוס את השמש לכדור ברדיוס של כשלושה ק"מ, אזי מהירות הבריחה מהגוף תהיה מהירות האור, ועל כן השמש תהיה חור שחור. נקודה חשובה נוספת היא כי אם אכן נדחוס את השמש לחור שחור, כדור הארץ ימשיך להרגיש כוחות כבידה דומים מאוד לאלה שהוא מרגיש כאשר השמש היא ברדיוסה הנוכחי, ועל כן הוא ימשיך להקיף את השמש.

בשנת 1971 הראה סטיפן הוקינג שבכל תהליך שבו מעורב(ים) חור שחור או כמה חורים שחורים, סך כל שטח הפנים של החורים (שטח של אופק המאורעות) נוטה לגדול. לדוגמה, כאשר שני חורים שחורים מתמזגים, שטח הפנים של החור הסופי עולה על סכום השטחים ההתחלתיים.

תוצאה זו הביאה את פרופ' יעקב בקנשטיין, בשנת 1972, בהיותו בן 25, למסקנה שיש לייחס לכל חור שחור כמות של התכונה התרמודינמית "אנטרופיה" המתכונתית לשטח הפנים שלו. נבע מזה שלכל חור שחור טמפרטורה מסוימת שככל שהחור קטן יותר, כך היא גבוהה יותר.

בתחילה התקבלה טענתו בקהילה המדעית בביטול, וכך התייחס לזה גם הוקינג, שכן אם לחור שחור יש טמפרטורה, הוא צריך לקררן כמו גוף שחור. אולם ב-1974 גילה הוקינג בעצמו כי חור שחור אכן חייב לפלוט קרינה, תוצאה של זוגות החלקיקים הווירטואליים שנוצרים קרוב לפני האופק. קרינה זו נקראת היום "קרינת הוקינג". למעשה, חורים שחורים, כך נראה, אינם שחורים כל כך. החישובים הראו שקרינה זו אכן מתאימה לקיום אנטרופיה הפרופורציונלית לשטח החור השחור. הרעיון נעשה למקובל, והאנטרופיה הזו מכונה אנטרופיה בקנשטיין-הוקינג. בכך תרם פרופ' בקנשטיין לייסוד התרמודינמיקה של החורים השחורים ולהיבטים אחרים של הזיקה בין תורת המידע לתורת הכבידה.

על הישגיו ותרומותיו זכה פרופ' בקנשטיין בפרס רוטשילד, בפרס ישראל ובפרס וולף.

מולקולות אפלות

פרופ' יהושע יורטנר, אוניברסיטת תל-אביב

מדעי הכימיה מייצגים את הקמתה של המסגרת הניסיונית והמושגית למבנה החומר, תפקודו ושינויו. החל משנת 1927 היוותה תורת הקוונטים בסיס להבנת המבנה המולקולרי, ואילו שנות השישים של המאה שעברה מציינות את ראשיתו של המחקר העיוני של התפקוד והשינוי במולקולות גדולות. תיאור חדשני של התפקוד והשינויים החלים בחומר באמצעות בליעת אור ניתן בתאוריית ביקסון-יורטנר (משנת 1968) של גלגולי אנרגייה במולקולות, שבה מספר עצום של מצבי תנודה גרעינית מהווה מוקד לדרדור אנרגיית "חלקיקי האור" (הפוטונים) [הנבלעים על ידי המולקולה]. תהליכי היסוד של "מעברים לא קרינתיים" מנצלים את אנרגיית האור להפיכת אנרגייה אלקטרונית לגרעינית וכן לזרימת אנרגיית תנועה גרעינית במולקולות, מוצקים, נוזלים, מערכות ביולוגיות וננומטריות. עבודה זו הניחה יסודות לבקרה של תהליכים מושרי-לייזר, לחקר

תהליכי יסוד פוטוביולוגיים ולתיאורו של "היקום הכימי" והובילה למושג "חבילות גל של מצבים מולקולריים", שדעיכתם מגלה תופעות התאבכות פנים-מולקולרית ומאפשרת מעקב ישיר אחרי התנועה הגרעינית. תוצאות מחקרים עיוניים אלה אושרו 16 שנה לאחר מכן בעבודה ניסיונית במכון הטכנולוגי של קליפורניה בארצות הברית, תוך שימוש בלייזרים על-מהירים, אשר הביאה להענקת פרס נובל בכימיה בשנת 1999 לפרופ' אחמד זוויל.

לימים זכה פרופסור יהושע יורטנר בפרסים יוקרתיים, ובהם פרס ישראל, פרס ויצמן, פרס רוטשילד, פרס א.מ.ת. ופרס וולף על "מחקרים פורצי דרך של צבירת, אגירת ושחרור אנרגיה במערכות מולקולריות".

גבישים קוואזי-מחזוריים

פרופ' מחקר דן שכטמן מהטכניון, חתן פרס נובל בכימיה לשנת 2011

פרופ' מחקר דן שכטמן מהפקולטה להנדסת חומרים בטכניון זכה בפרס נובל בכימיה לשנת 2011, על גילוי הגבישים הקוואזי-מחזוריים בשנת 1982.

הגילוי היה במעבדות NBS במרילנד שבארצות הברית, שבהן עבד במסגרת שבתון במשך שנתיים, ולשם הוזמן פרופ' שכטמן על ידי ד"ר ג'ון כאהן, שביקר בטכניון בשנת 1980. בתקופת השבתון חקר פרופ' שכטמן חומרים מתכתיים שיוצרו על ידיו באמצעות התמצקות מהירה. מה שראה במיקרוסקופ האלקטרוני החודר ביום התגלית היה דיפרקציית אלקטרוני שהראתה שהגביש הנבדק הוא גביש בעל סימטרייה סיבובית של חמש – סימטרייה בלתי אפשרית בגבישים מחזוריים.

בשנת 1912 אישר המדען הגרמני פון לאוה, באמצעות דיפרקציית קרני-X, כי לרוב המוצקים מבנה גבישי מסודר ומחזורי. מאז ועד שנת 1982, במשך שבעים שנה שבהן נחקרו מאות אלפי גבישים שונים, לא דווח על גילוי גבישים שאינם מחזוריים. בנסיבות אלו התבססה פרדיגמה המגדירה את הגביש "מסודר ומחזורי" וקבעה כי לגבישים מחזוריים יכולה להיות סימטרייה סיבובית של 2, 3, 4 או 6 – ולא מספר הגדול מ-6. על יסוד זה צמחה תורת הגבישים (הקריסטלוגרפיה), אשר עד שנות השמונים הייתה "מדע סגור", שאנשיו לא ציפו לגילויים מהפכניים.

פרופ' שכטמן ביצע בעקבות הגילוי סדרת ניסיונות כדי לברר מה גורם לסימטרייה המחומשת. בתחילה חשב שמדובר בתופעה הקרויה "תאומים". כששלל אפשרות זו הבין שגילה גבישים חדשים, ובהמשך הוא מצא גבישים כאלה בשלושה חומרים שונים.

משנסתיימה שנת השבתון שב פרופ' שכטמן לטכניון. הוא פגש את פרופ' אילן בלך, אשר היה היחיד שהאמין לגילוי שלו ואף הציע מודל המסביר איך התקבלה דיפרקצייה כזו. בקיץ של שנת 1984 חזר פרופ' שכטמן למרילנד ושלח את העבודה לפרסום, בשיתוף עם פרופ' בלך, ד"ר כאהן והמדען הצרפתי ד"ר דניס גרטיאס, והמאמר אכן פורסם בעיתון היוקרתי *Physical Review Letters* בנובמבר 1984. כך נפתח תחום חדש במדע: גבישים קוואזי-מחזוריים.

במשך שנים געשה ורעשה קהילת הפיזיקאים, והחרתה החזיקה אחריה קהילת הכימאים והמתמטיקאים, אך קהילת ה"מאמינים" של ד"ר שכטמן גדלה והלכה, ובסופו של דבר קיבלה תגליתו הכרה בין-לאומית רחבה.

כיום כבר ידוע על מאות חומרים המקיימים את המבנה שגילה פרופ' שכטמן, ומדי שנה מתקיימים כינוסים לאומיים ובין-לאומיים בנושא.

למעלה מ-40 ספרים מדעיים הוקדשו לגבישים קוואזי-מחזוריים, ובספרים רבים אחרים עודכן הפרק הדין במדע הקריסטלוגרפיה. בעקבות התגלית ואישושה שינתה האגודה הבין-לאומית של הקריסטלוגרפיה את הגדרת הגביש ובכך יצרה שינוי פרדיגמה ואת ההגדרה הבסיסית של מדע

הקריסטלוגרפיה. בישראל הוצמד שם לחומר בעל המבנה החדש – "שכטמנית".

על תגליתו והישגיו המדעיים זכה פרופ' שכטמן בפרסים רבים, כולל פרס ישראל, פרס וולף ופרס נובל לכימיה לשנת 2011.

הרס לשם בנייה: על ההכרח שבתחלופת חלבוני הגוף וסיפור גילוייה של מערכת האוביקוויטין

פרופ' אברהם הרשקו ופרופ' אהרן צ'חנובר, הפקולטה לרפואה, הטכניון

גוף כל היצורים – מן הווירוסים דרך הצמחים ועד האדם – עשוי חלבונים, אותן מכוננות קטנות המאפשרות את התפקוד המורכב של החיים. קחו את גוף האדם למשל, הוא עשוי עשרות אלפי חלבונים, מן ההמוגלובין – חלבון הדם האדום הנושא את החמצן – דרך הנוגדנים, הבונים את מערכת החיסון ומאפשרים לנו התגוננות מפני "פולשים זרים" כחיידקים ווירוסים, דרך האקטין, המיוזין והמיוגלובין – חלבוני השריר המאפשרים את פעולת שאיבת הדם על ידי הלב ואת התנועה – ועד לחלבוני המוח האחראים לתפקודים הגבוהים של האדם – מן השמיעה, הראייה והדיבור ועד להבנה, הזיכרון, האינטליגנציה והיצירתיות. חוקרים רבים עסקו במנגנוני הייצור של החלבונים הבונים ומאפיינים את המינים השונים, אך רק חוקרים מעטים התעניינו בצדה השני של המשוואה – מנגנוני פירוקם של אלפי החלבונים שנוצרו – ובהם פרופ' אברהם הרשקו ופרופ' אהרן צ'חנובר, אשר גילו את מערכת האוביקוויטין. הסיבה להתעניינות המועטה היא שנושאים נחקרים במדע הם עניין שבאפנה, ויתר על כן, הרס מעניין פחות מבנייה, שכן הנחת היסוד היא שהוא נטול ייחודיות (ספציפיות). באמצע שנות החמישים התגלה אברון תת-תאי, הליזוזום, שבשל הכילו אנזימים מעכלי חלבונים נחשב לאברון המעכל את חלבוני התא. גילוי זה (שזיכה את המדען הבלגי-אמריקאי כריסטיאן דה דוב [de Duve] בפרס נובל לרפואה) "הרדים" עוד יותר את תחום חקר פירוק החלבונים, ורק מדענים בודדים עסקו בו. ממצא חשוב אשר משך תשומת לב בשל העדר היכולת להסבירו באמצעות עיכול חלבונים, המתווך על ידי הליזוזום, היה הייחודיות – הספציפיות והסלקטיביות של מנגנון הפירוק. בשנות השישים והשבעים התברר כי לכל חלבון אורך חיים משלו, וזה אף יכול להשתנות עם השתנות התנאים הפיזיולוגיים או הפתולוגיים של התא. כאמור היה אי אפשר להסביר ממצא זה באמצעות המנגנונים הידועים של עיכול ליזוזומלי של חלבונים, כי הליזוזום איננו מעכל חלבון בודד אלא פועל על החלבונים כולם (bulk). ממצא נוסף שמשך תשומת לב הוא הדרישה לאנרגיה בפירוק חלבונים (ממצא שלא התיישב עם הנחות היסוד הבסיסיות של התרמודינמיקה, שכן מן ההיגיון שפירוק חלבונים עתירי אנרגיה למרכיביהם עניי האנרגיה יפלוט אנרגיה ולא יצרוך אותה). הדרישה העלתה גם היא חשד כי מדובר בהליך המתווך על ידי מנגנון ספציפי. דרישה זו אובחנה גם בחיידקים שהם נעדרי ליזוזום כליל, ולכן היא מן הסתם אוניברסלית להליכי הפירוק בכל היצורים.

פרופ' הרשקו, בעת השתלמותו הבת-דוקטורלית אצל הפרופ' גורדון טומקינס, התעניין בבעיה זו ואימת, הפעם באשר לחלבון יונקי ספציפי, את הדרישה לאנרגיה לצורך פירוקו, אך המנגנון המבצע זאת עדיין נשאר בחזקת נעלם. פרופ' הרשקו ותלמידו לדוקטורט אהרן צ'חנובר (כותב דברים אלו) חשפו בסוף שנות השבעים ותחילת שנות השמונים את מערכת האוביקוויטין לפירוק חלבונים. המערכת ענתה הן על דרישת הספציפיות הגבוהה בתהליך פירוקם והן – ואולי בשל כך – על הדרישה לאנרגיה. המערכת פועלת באופן דו-שלבי: בתחילה היא מצמידה את החלבון אוביקוויטין לחלבון המטרה המיועד לפירוק, ורק לאחר מכן החלבון מתפרק על ידי אנזים המכיר רק חלבונים מסומני-אוביקוויטין.

עם הזמן הלכה והתבררה חשיבות המערכת. נחשף בחלקו מנגנון ההכרה הספציפי שלה, והתברר שהוא מורכב ממאות חלבונים הכרה ייחודיים הקרויים ליגאזות (קשרנים) של אוביקוויטין, המכירים כל אחד תכונות ייחודיות בחלבון המטרה. בסך הכול התברר כי המערכת מורכבת מקרוב ל-1,500

חלבונים, או כ-6%-7% מסך חלבוני האדם, מספר מפתיע ועצום על פי כל אמת מידה. זו אולי המערכת הגדולה ביותר – מבחינת מספר מרכיביה – בגוף האדם. בד בבד תוארו חלבונים דמויי-אוביקוויטין שגם הם נצמדים לחלבוני מטרה, אך למטרות שונות מ"הוצאתם להורג", למשל לצורך הכוונתם לאתרים תת-תאיים. תוארו גם תפקודים לא הרסניים של מערכת האוביקוויטין, ועתה יותר משלושים שנה אחרי גילויה מתברר כי היא ממלאת תפקידים חשובים למעשה בכל תהליך תאי בסיסי ביצור החי. אין תמה אפוא כי הפרעות במערכת זו מוליכות למחלות שונות – ובהן ממאירויות, מצבי דלקת כרוניים ומחלות ניווניות של המוח. התגליות הללו דחפו לפיתוח תרופות חדשניות, הראשונות שבהן כבר מצויות בשימוש והן חוללו מהפכה, למשל בטיפול בממאירויות של הדם. אנו נמצאים בעיצומה של מהפכה חדשה, שבה שני צדי המשוואה – ייצור חלבונים ופירוקם – ממלאים תפקידים חשובים.

על הישגיהם בגילוי המערכת זכו פרופ' הרשקו ופרופ' צ'חנובר בהכרה עולמית רחבה. בין השאר הוענק להם פרס ישראל, פרס אלברט לסקר למחקר רפואי – הפרס השני בחשיבותו אחרי פרס נובל – ופרס נובל לכימיה לשנת 2004 (עם שותפם למחקר הפרופ' אירוויין רוז מארצות הברית). הם גם חברים בגופים האקדמיים המכובדים בעולם, ובהם האקדמיות הלאומיות למדעים של ישראל ושל ארצות הברית.

הריבזום (יצרן החלבונים של התא) והקשר לאנטיביוטיקה

פרופ' עדה יונת, המחלקה לביולוגיה מבנית, מכון ויצמן למדע

הריבזום הוא רכיב תוך-תאי מורכב ביותר. הוא משמש בית חרושת לייצור חלבונים, המבצעים את רוב תהליכי החיים. חלקם מתפקדים כאנזימים המבצעים פעילויות מוגדרות, אחרים משמשים נוגדנים, מוליכי חמצן או קולטנים. המשותף כולם הוא שאופן פעילותם תלוי לחלוטין במבנם המרחבי, הנקבע לפי רצף החומצות האמיניות שלהם, וזה נקבע לפי רצף הבסיסים בגנים המקודדים אותם. שלבי הפעולה הבסיסיים הקשורים לתהליך תרגום הצופן הגנטי אותו ונחקרו ביוכימית במשך יותר משנות דור, אך לא היה שמץ של מידע על פרטי תהליך תרגום הצופן הגנטי ויצירת החלבונים. עוד היה ידוע כי הריבזומים הם צברים גמישים הבנויים ממספר רב של מרכיבים המאורגנים בשתי יחידות משנה – גדולה וקטנה – שמתאחדות לריבזום השלם עם תחילת תהליך התרגום וחוזרות להתקיים בנפרד כאשר הריבזום אינו עוסק ביצירת החלבון. אך לא היה ידוע מה קורה בתוך הריבזום.

פרופ' עדה יונת פיתחה שיטת מדידה מהפכנית של איסוף נתונים קריסטלוגרפיים בטמפרטורות נמוכות מאוד, וזו אפשרה את קביעת המבנה הקריסטלוגרפי של הריבזום. בשנת 2000 פוענחו המבנים הראשונים של שתי יחידות המשנה של הריבזומים והביאו לפריצות דרך חשובות במחקר התפקוד של הריבזומים.

איך כל זה קרה?

את פרופ' עדה יונת התהליך כולו סקרן. היא ידעה שפיענוח המבנה המרחבי של הריבזום ברמה האטומית הוא תנאי סף להבנת התהליך לפרטיו. מידע כזה מתקבל אך ורק בשימוש בטכנולוגיה הקרויה קריסטלוגרפיה בקרני X (רנטגן), שהיא מן המסובכות ביותר במדעי החיים, גם כאשר הנושא הוא פשוט יחסית. שיטה זו מצריכה יצירת גבישים תלת-ממדיים של המולקולות הנחקרות, אך גיבוש מולקולות ביולוגיות מסובך וקשה עד מאוד בשל המבנה המסובך והאסימטרי שלהן. נוסף על כך, כדי לפענח את המבנה הקרוב ביותר למצב הפעיל של החלבון יש לשמר אותו בסביבה המדמה את סביבתו הטבעית לאורך כל תהליך הגיבוש והמדידה, שצורך לעתים שבועות וחודשים. גיבוש הריבזומים היה, ועודנו, אתגר רציני ביותר, גם בהשוואה למולקולות ענק או לצברים ביולוגיים אחרים. זאת בשל גודלם העצום, מורכבות מבנם וחוסר יציבותם. נוסף על כך, התפקוד

המורכב של הריבזומים והמעורבות האינטנסיבית שלהם בשלבים הרבים של ההתחברות עם הצופן הגנטי, קריאתו ויצירת החלבונים, דורשים גמישות מבנית רבה ויכולת לקיים תבניות מבניות הנוצרות תוך הסתגלות לדרישות הפעילויות המסוימות. אכן, ההטרונגניות המבנית וחוסר היציבות של הריבזומים היו מחסום לגיבושם, ומכיוון שקבוצות מחקר רבות מאוניברסיטאות מובילות נכשלו בכך במשך כשני עשורים, הדעה המקובלת הייתה ש"אי אפשר לגבש ריבזומים".

לפרופ' יונת התברר שהריבזומים של דובים השרויים בשנת חורף מסתדרים עם רדת הקור על הקירות הפנימיים של דופנות התאים במבנה דמוי-גביש. לדעתה, כך הם אינם מתפרקים (כפי שהיה קורה אילו היו התאים מפוזרים) במשך תקופה ארוכה, עד בוא האביב, כאשר הם דרושים לייצור חלבונים מיד עם התעוררותם כדי שיוכלו לעשות את הפעולות המאפשרות את חייהם. ממצא זה הראה בבירור שאפשר לשמר את הריבזומים פעילים לאורך תקופות ארוכות ורמז שהם בני גיבוש. בהתבססה על "חכמת" דובי הקוטב פיתחה פרופ' יונת שיטות מתוחכמות, המבוססות על לימוד מבנה ריבזומים ממקורות עמידים, כגון חיידקים הגדלים בטמפרטורות גבוהות או בתנאי מליחות קיצוניים כמו ים המלח, והצליחה לייצר גבישי ריבזומים באיכות גבוהה.

נוסף על כך, קבוצת המחקר שלה פיתחה שיטת מדידה מהפכנית של איסוף נתונים קריסטלוגרפיים בטמפרטורות נמוכות עד מאוד, המקבעות את אטומי החומר הנחקר ואינן מאפשרות את התקדמותן והתעצמותן של תופעות הדעיכה, וכך נעשה המחקר הקריסטלוגרפי, והשיטה הפכה מיד ל"נורמה" כלל-עולמית.

בשנת 2000 פוענחו המבנים הראשונים של שתי יחידות המשנה של הריבזומים ברמה האטומית, ופיענוחם הביא לפריצות דרך חשובות ביותר במחקר התפקוד של הריבזומים. נמצא שבתוך הריבזום חלוקת התפקידים בין שתי יחידות המשנה דומה לתהליך ייצור של מפעל ייצור תעשייתי. היחידה הקטנה מייצגת את ה"מוח". בה מתקיים תהליך תרגום הצופן הגנטי שבחומצות הגרעין לחלבון ב"קריאה" של הצופן הגנטי והתקשרות מבוקרת של מוליכי החומצות האמיניות עם "העותק התפעולי" של הוראות. יחידת המשנה הגדולה מחברת את החומצות האמיניות לשרשרת החלבון ומנתבת את החלבונים הנוצרים למנהרה המגנה על החלבון החדש עד ליציאתו לאוויר העולם, כשהוא מקופל סופית או עומד להתקפל בעזרת "מקפלים מקצועיים". ממצא מלהיב שהיה לא צפוי כלל הוא שהמנהרה משמשת גם "שער מוסת", הנפתח ונסגר על פי הוראות מהתא. המנהרה משמשת גם אתר לקישור משפחה גדולה של תרופות אנטיביוטיות.

היות שתהליך בניית החלבונים הוא בעל חשיבות רבה עד מאוד לחיי התא, כמעט מחצית התרופות האנטיביוטיות המצויות בשימוש כיום תוקפות את הריבזום ומעכבות את פעילותו. פיענוח מבנה הריבזומים של חיידקים המשמשים מודלים מצוינים לחיידקים הפתוגניים (גורמי המחלות) אפשר התקדמות אדירה בנושא חקר דרך הפעולה של תרופות אנטיביוטיות והעמידות ההולכת וגוברת של חיידקים לאנטיביוטיקה.

בזכות המחקר פוענחו הכללים הבסיסיים המסבירים כיצד האנטיביוטיקות הקטנטנות משביתות את פעולת הריבזום הענק, וכיצד החיידקים מחוללי המחלות מפתחים עמידות, ונוצרו כלים לשיפור יעילות התרופות האנטיביוטיות ברמת התרגום הגנטי.

מחקרה החלוצי של פרופ' יונת זיכה אותה בפרס נובל בכימיה בשנת 2009.

פיתוח תרופת הקופקסון לטיפול במחלת הטרשת הנפוצה

פרופ' רות ארנון ופרופ' מיכאל סלע, מכון ויצמן למדע

פיתוח תרופות הוא תחום העיסוק של חברות פארמה. באוניברסיטאות או במכוני מחקר העיסוק העיקרי הוא במחקר בסיסי, אשר ייעודו הוא הרחבת מכלול הידע בעולם, והוא מודרך על ידי סקרנותו המדעית של החוקר. עם זאת לעתים קורה שמחקר בסיסי לחלוטין מניב ממצא שניתן לתרגום מעשי ולפיתוח יישומי. זו הייתה השתלשלות הדברים שהובילה ממחקר בסיסי במכון ויצמן לפיתוח תרופת הקופקסון לטיפול במחלת הטרשת הנפוצה.

איך זה קרה?

הטרשת הנפוצה היא מחלה אוטואימונית, שבה מערכת החיסון תוקפת את מעטפת המיילין המגנה על כל עצב בגופנו. נזק למעטפת המיילין, בדומה לנזק במעטפת הבידוד של כל חוט חשמלי, גורם בסופו של דבר ל"קצר" במערכת העצבים, שבא לידי ביטוי בנזק נירולוגי. זו מחלה שתוקפת רק בני אדם, והמנגנון שלה, כמו הגורם להופעתה, אינו ידוע כלל. בשנות השישים לא היה כל טיפול יעיל במחלה זו. כדי לחקור אותה פיתחו חוקרים בארצות הברית בשנות השישים מודל בבעלי חיים, כלומר מחלה בבעלי חיים הדומה מאוד לטרשת נפוצה. בתחילת שנת 1967 הם מצאו שאפשר לעורר מחלה כזו בחיות בהזרקה חלבון מסוים, שהוא אחד המרכיבים של המיילין, אשר הרכבו הכימי נקבע במדויק.

במעבדתם של פרופ' מיכאל סלע ופרופ' רות ארנון היה ניסיון רב בהכנה ובאפיון של פולימרים סינתטיים דמויי-חלבון, בעלי תכונות שניתנות לתכנון מראש. השערת העבודה שלהם הייתה שאפשר להכין פולימר סינתטי כזה שיחקה את המבנה של אותו חלבון המיילין הגורם לטרשת נפוצה. הם סברו שפולימר כזה עשוי גם הוא להשרות מחלה דומה לטרשת נפוצה, ולכן ייתן בידם כלי מחקר מעולה לחקור את מנגנון המחלה, וזאת הייתה כוונת המחקר. הם הכינו סדרת פולימרים ובדקו את כולם, אך אף אחד מהם לא היה מסוגל לגרום למחלה. לאחר שנה שלמה של ניסויים בעלי תוצאות מתסכלות הם כמעט "הרימו ידיים", אך החליטו לבדוק אפשרות נוספת: אם אותם פולימרים סינתטיים אמנם דומים לחלבון המיילין, גם אם לא במידה הדרושה כדי לחקות את פעילותו ולגרום למחלה אך במידה מספקת כדי להתחרות בו ולמנוע ממנו את היכולת לעורר מחלה. ניסיון ראשון נתן תוצאות מדהימות – רמת התחלואה של החיות ש"טופלו" בפולימרים ירדה מ-80% בקבוצת הביקורת ל-20% בקבוצת הניסוי. הפעיל שבסדרת הפולימרים היה זה שהם כינו Cop I.

זה היה הבסיס לפטנט שנקרא "פולימר תרופתי" וגם להמשך המחקר, שבו הם הצליחו להראות שאותו פולימר פעיל בכמה מינים של חיות, כולל פרימאטים. יתר על כן, ניסויים קליניים בחולי טרשת נפוצה אשר נעשו בשיתוף עם רופאים ונירולוגים, פרופ' עודד אברמסקי מ"הדסה" ורופאים בגרמניה ובארצות הברית, הראו ש-Cop I אכן יעיל בהפחתה ניכרת של תכיפות ההתקפים החוזרים האופייניים לשלב המוקדם של הטרשת הנפוצה, וזאת כמעט ללא תופעות לוואי.

על סמך תוצאות אלה, אשר פורסמו בעיתון מדעי יוקרתי, קיבלה עליה חברת טבע לפתח את Cop I לתרופה מסחרית. הפיתוח כלל ניסוי קליני נוסף בפאזה שלישית, ותוצאותיו המוצלחות הביאו לאישור בסוכנות התרופות האמריקאית FDA בשנת 1996, ובעקבותיו ברשויות הבריאות במספר רב של מדינות. השם המסחרי שנתנה חברת טבע לתרופה זו הוא "קופקסון", וכיום יותר מ-200,000 חולים בכחמישים מדינות ברחבי העולם נהנים מהשפעתה המועילה ומבטיחותה לאורך שנים. הודות לקופקסון חדרה חברת טבע לתחום התרופות המקוריות, נוסף על תחום התמחותה העיקרי – תרופות גנריות. עם השנים פותחו תרופות נוספות לטיפול בטרשת הנפוצה. אולם תרופת הקופקסון הייתה חלוצה בנושא, ועד היום נחשבת לאחת התרופות החשובות, ופלח השוק שלה עולה על אלה של כל אחת מהתרופות האחרות.

עבודה זו זיכתה את פרופ' ארנון ואת פרופ' סלע בכיבודים ובפרסים יוקרתיים, כולל פרס וולף ופרס ישראל, ומבחינת חברת טבע – הקופקסון הוא מוצר הדגל.

אפיגנטיקה – לא רק הגנום קובע

פרופ' חיים סידר ופרופ' אהרן רזין, האוניברסיטה העברית בירושלים

המחקר פורץ הדרך של פרופ' חיים סידר ופרופ' אהרן רזין לפני יותר משלושה עשורים הניח את היסודות לאפיגנטיקה, תחום מדעי חדש בביולוגיה, החובק את מרב הנושאים הנחקרים היום בביולוגיה המודרנית וברפואה. הם הראו שתהליכים כימיים המתרחשים לאחר שרצף הדי־אן־איי נקבע, משחקים תפקיד מרכזי בהתפתחות גוף האדם, בבריאות ובחולי. תרומתם של פרופ' סידר ופרופ' רזין להתפתחותו המהירה של חקר האפיגנטיקה והשלכותיו על כל תחומי המחקר בביולוגיה זוכה להכרה בין־לאומית רחבה, המתבטאת בין השאר בהענקת פרסים יוקרתיים בחקר מדעי החיים והרפואה כגון פרס ישראל, פרס וולף, פרס א.מ.ת, ולאחרונה פרס גרדנר היוקרתי ברפואה.

איך זה פועל?

תופעת המתילציה של הדי־אן־איי והשינויים הדינמיים המתקיימים בה הם בסיס לתהליכים הביולוגיים המתרחשים בגוף האדם מיום היוולדו ועד למותו. מתילציה של די־אן־איי משחקת תפקיד מרכזי בהתפתחות העובר והיילוד ולאורך החיים, כולל התהליכים הקשורים בהזדקנות. פגמים במתילציה של די־אן־איי מתבטאים כמובן במחלות, כולל פיגור שכלי ומחלות גנטיות קשות הקשורות בתפקוד מערכת העצבים ומערכות חשובות אחרות בגוף האדם. לאחרונה התברר שגידולים שפירים וסרטניים מתפתחים עקב שינויים במתילציה של די־אן־איי כבר בזמן ההתפתחות העוברית.

מדעי הרוח, החברה והמשפטים

חידה של כתב נכחד

פרופ' מרגלית פינקלברג, אוניברסיטת תל־אביב

באלף השני לפני הספירה היה האגן המזרחי של הים התיכון, ובכלל זה הים האגאי, לזירת היווצרותן של שיטות כתב חדשות, שונות במהותן מכתב היתדות ומהכתב ההירוגליפי שהיו נקוטים באותה עת באזורים סמוכים. במחקר המודרני קיבלו כתבים אלה שם משותף: "הכתבים האגאיים". בלטו במיוחד שניים מהכתבים, שנתגלו בשנת 1900 באי כרתים. אלה כתבים קוויים (לינאריים), וארתור אוונס (Evans), הארכאולוג הבריטי שגילה אותם, נתן להם את הכינויים "הכתב הקווי א" (Linear A) ו"הכתב הקווי ב" (Linear B). בשנות החמישים של המאה העשרים פיענח מייקל ונטריס (Ventris) הבריטי את הכתב הקווי ב (שבינתיים נתגלה גם ביוון היבשתית) והוכיח מעל לכל ספק ששפתו יוונית. הכתב הקווי א נותר לא מפוענח. בסדרת פרסומים בשנים 1991–2001 הציעה פרופ' מרגלית פינקלברג דרך לפיענוח כתב זה ולזיהוי השפה שהוא מייצג.

פרופ' פינקלברג הוכיחה כי אפשר לגשת לפיענוח הכתב הקווי א באמצעות החלת הערכים הפונטיים של הסימנים הנהוגים בכתב הקווי ב. ההוכחה הזאת סיפקה בסיס מתודולוגי מוצק לעבודתה. באמצעות ניתוח בלשני מתוחכם של המאפיינים הפונטיים והמורפולוגיים של שפת הכתב הקווי א היא הרכיבה מעין פרופיל לשוני של השפה הזאת וניסתה להחיל אותו על השפות שבספרות המחקר הוצע לראות בהן שפות אפשריות שמאחורי הכתב הזה. התברר בלי ספק כי שפתו של הכתב הקווי א אינה יכולה להיות יוונית ואף לא שפה שמית. הפרופיל התאים אך ורק לקבוצת השפות האנטוליות, שפות הודו־אירופיות שתועדו באנטוליה הקדומה, ובהן תתית, לוית, ליקית וקרית. זיהוי זה של שפתו הקדומה של האי כרתים (שנהוג לכנותה גם "השפה המינואית") מקובל כיום על חוקרים רבים. מקובלת גם מסקנה אחרת שהגיעה אליה פרופ' פינקלברג והיא שהמצע

(סובסטרט) הלשוני והאתני שקדם להופעתם של היוונים באזור הים האגאי וביוון היבשתית הוא מצע אנטולי, דהיינו הודו-אירופי, ולא כפי שהיה נהוג לחשוב קודם לכן.

בעקבות מחקרה בכתבים האגאיים חקרה פרופ' פינקלברג גם את יחסי הגומלין שבין השפות האנטוליות ובין שאר השפות ההודו-אירופיות ואת הגנאלוגיה שלהן. היא הגיעה למסקנה שכיוון שדרכיהן של שתי הקבוצות הללו נפרדו בשלב מוקדם בהיסטוריה שלהן, השפות האנטוליות משקפות את הרובד הקדום ביותר בהתפתחות משפחת השפות ההודו-אירופית. בשנת 2003 רואינה פרופ' פינקלברג בעניין זה לכתב העת *Science*.

על הישגיה המרשימים זכתה פרופ' פינקלברג בפרס רוטשילד.

גבולותיה של אימפריה: הצבא הרומי במזרח

פרופ' בנימין איזק, אוניברסיטת תל-אביב

מחקרו של פרופ' בנימין איזק על הצבא הרומי האימפריאלי ועל האימפריאליזם הרומי שינו את הבנת תפקידו ההיסטוריים של הצבא בפרובינציות של האימפריה. בעבר הניחו היסטוריונים וארכאולוגים שהתפקיד העיקרי של הצבא הרומי היה הגנה על הפרובינציות באזורי הגבול מפני אויבים מבחוץ, ואילו פרופ' איזק הראה שיעדיהן של הרשויות הרומיות היו שונים בתכלית: שיטור פנימי בפרובינציות והכנה להתרחבות נוספת.

לאימפריה הרומית הייתה אידאולוגיה של תקיפה והתרחבות ולא של שמירת הסטטוס קוו והגנה עליו. פרופ' איזק טוען שהמושג של קביעת גבול לאימפריה לא היה רלוונטי בתפיסה הרומית, משום שהיא לא הייתה תפיסה טריטוריאלית אלא ביטוי של שליטה על עמים וערים. לניתוח זה השלכות על הבנת השרידים הפיזיים של מתקני הצבא באזורי הגבול. אלה נמצאו בחלקים רבים של האימפריה, מבריטניה בצפון-מערב עד הים השחור בצפון-מזרח וממרוקו בדרום-מערב עד לערבִּיָּה בדרום-מזרח. בדרך כלל ראו בהם החוקרים שרידים של מבנים ששימשו קווי הגנה צבאיים. פרופ' איזק הראה שקווים אלה עוברים בדרכי תקשורת נוחות כגון נהרות או כבישים ראשיים, ושתפקידם העיקרי של המתקנים היה מימוש השליטה על אזור גבול רחב, שהשתרע לפנים הפרובינציות ומעבר לטווח שליטתו של המנהל הרומי המוסדר. שינויים שחלו עם הזמן בהתפרסות יחידות הצבא בפרובינציות פורשו במחקר בדרך כלל כשינויים בשיטת ההגנה: "הגנה קווית" בתקופה המוקדמת לעומת "הגנה עמוקה" בעת העתיקה המאוחרת. אולם לדעתו של פרופ' איזק תפקידו העיקרי של הצבא לא היה הגנתי, לא בתקופה המוקדמת ולא בזו המאוחרת, והתפרסותו בתקופה המאוחרת לא הייתה שונה בעיקרה מזו שבתקופה המוקדמת יותר. השינוי אינו מעיד אלא על שאיפה לפריסת יחידות קטנות וניידות יותר על פני שטח רחב יותר כדי לשפר את השליטה המקומית על פני אזור גבול רחב.

עניין נוסף שפרופ' איזק נדרש לו הוא השאלה אם אמנם ננקטה באימפריה הרומית "אסטרטגיה רבתי", כפי שטען פרופ' אדוארד לוטוואק (Luttwak) בחיבורו החשוב בנושא. פרופ' איזק טען נגדו שמדובר במושג מודרני שאינו שייך למציאות של העת העתיקה, משום שחסרו אז הכלים הרעיוניים והטכניים הדרושים לגיבוש תפיסה מעין זו: היכרות יסודית עם מפות טופוגרפיות, מסורת ארוכת ימים של קצונה מקצועית והמוסדות המוכרים עתה של תכניות להכשרת קצינים ובתי ספר צבאיים המסוגלים להקנות המשכיות תפיסתית. בהעדרם של כלים כגון אלה הונחו דרכי הפעולה של הצבא הרומי על ידי המנהג ועל ידי ניסיונותיו וכישלונותיו בטווח הקצר.

על הישגיו אלה זכה פרופ' איזק בפרס ישראל.

ראו: Benjamin Isaac, *The Limits of Empire: The Roman Army in the East*. Oxford: Clarendon Press, 1992.

מהפכנות דתית וחקר הדתות

פרופ' גדליה סטרומזה, האוניברסיטה העברית בירושלים

פרופ' גדליה סטרומזה חוקר את הדתות והזרמים הרוחניים באגן הים התיכון ובמזרח התיכון מתקופת האימפריה הרומית המוקדמת ועד לשלהי העת העתיקה – מלידתה של הנצרות ועד להופעת האסלאם. פרופ' סטרומזה מתעניין במיוחד במנשק שבין הדתות והתרבויות השונות ובהשפעותיהן ההדדיות – בין היהדות לנצרות ובין דתות זרמים דואליסטיים ומזרחיים כגנוסיס ומניכאיזם ואסכולות פילוסופיות ובין זרמים מרכזיים ביהדות חז"ל ובנצרות הקדומה.

בספר על אודות המהפכה הדתית של שלהי העת העתיקה⁵⁷ עמד פרופ' סטרומזה על כך שהצטרפותן יחד של תופעות שונות כגון סופם של קרבנות הדם, פרשנות כתבי הקודש וגיבושן של קהילות דתיות היא שהייתה לב המהפכה הזאת. הוא הראה שמרכיביו המרכזיים של השינוי הדרמטי בטיבה של הדת שורשיהם ביהדות. במחקר עכשווי הוא מנסה לעמוד על הקשר הסמוי שבין כיתות של יהודים-נוצרים – יהודים אשר מקבלים את ישו כמשיח בלי לוותר על זהותם היהודית ועל קיום מצוות עשה – לבין הקוראן.

כחוקרן של תופעות דתיות מתרבויות שונות תרם פרופ' סטרומזה גם לתולדות מדע הדתות כתחום ידע. בספר שפורסם לאחרונה⁵⁸ הוא הראה שלידתו של מדע זה בראשית העת החדשה, מהתגליות הגדולות ועד למהפכה הצרפתית, ולא כפי שמניחים בדרך כלל, בשלהי המאה התשע-עשרה, בעת הקמת הקתדרות הראשונות לחקר הדתות באוניברסיטאות האירופיות. בכוונתו להמשיך מחקר זה ולבדוק את הקשרים הסמויים שבין מסורות היסטוריוגרפיות למזרחנות, לדעות קדומות ולזרמים לאומניים בכמה ארצות מערב-אירופיות במאה התשע-עשרה.

על הישגיו אלה זכה פרופ' סטרומזה בפרס הומבולדט לשנת 2008.

סובלנות דתית וכפייה דתית במסורת האסלאם

פרופ' יוחנן פרידמן, האוניברסיטה העברית בירושלים

השאלה מה ראוי להיות יחסם של המוסלמים כלפי מאמיני הדתות האחרות נדונה במסורת המוסלמית מראשיתה, שכן האסלאם בא במגע עם דתות אחרות (עבודת האלים הערבית הקדומה, היהדות, הנצרות, הדת הפרסית הזורואסטרית ומאוחר לאלה גם דתות הודו) כמעט למן היווסדו. המפגש בין האסלאם לבין הדתות האחרות התקיים הן בחצי האי ערב והן באזורים הנרחבים שכבשו המוסלמים מהמאה הראשונה לתולדותיהם, ולווה בפולמוס חריף. ראוי לציין שלבד ממעט יוצאים מן הכלל, לפני התקופה המודרנית נדרשו המוסלמים לשאלת הסובלנות הדתית כשליטים הקובעים את החוקים ואת סדרי החיים באזורים הנתונים לשלטונם.

הקוראן, המסורת הנבואית המוסלמית (החדית') וספרות ההלכה של האסלאם מתייחסים בהרחבה לשאלה הזאת. בספרות המחקר המודרנית הודגש מאוד פסוק הקוראן האומר "אין כפייה בדת, וכבר התברר ההבדל בין הבינה לבין המדוחים. כל הכופר בשיקוצים ומאמין באלוהים יזכה להיאחז ביתד איתנה אשר לא תיעקר. אלוהים קשוב ויודע" (קוראן, סורה 2, פסוק 256, לפי תרגום אורי רובין, בשינויים מעטים). החוקרים ייחסו חשיבות רבה לפסוק הזה וראו בו הוכחה ניצחת לסובלנותו הדתית של האסלאם. מטרת מחקרו של פרופ' יוחנן פרידמן הייתה להרחיב את היריעה ולדון בשאלת הסובלנות לא רק על סמך החומר המצומצם אשר בקוראן אלא גם מתוך תיאורו וניתוחו של החומר העצום אשר נמצא במסורות המיוחסות לנביא מוחמד ובספרות ההלכה המוסלמית

Guy G. Stroumsa, *The End of Sacrifice: Religious Transformations of Late Antiquity*, Chicago and London: Chicago 57 University Press, 2009.

A New Science: the Discovery of Religion in the Age of Reason, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2010 58

הענפה. השימוש בחומר הנרחב הזה הביא לגילוי הרבגוניות בעמדות המוסלמיות בשאלת הסובלנות הדתית והחירות הדתית. למשל, התברר שפרשני הקוראן רחוקים מאחדות דעים בשאלת פירושו של הפסוק המצוטט לעיל. היו שחשבו שהפסוק איננו מצווה על סובלנות דתית כלפי מי שאינם מוסלמים אלא מתאר את המצב האנושי: אמונה דתית היא עניין שבלב, ולכן איננה ניתנת לכפייה. אחרים גרסו שיש בפסוק מצווה של סובלנות דתית, אך נחלקו בשאלה אם היא תקפה או שמא בוטלה על ידי פסוקים מאוחרים יותר בקוראן. הכול מאוחדים בדעה שהפסוק אינו חל על ערבים עובדי אלים רבים, אם כי לפי שתיים מאסכולות המשפט המוסלמי הוא חל על עובדי אלים רבים שאינם ערבים. מרבית הפרשנים גורסים שהפסוק מאפשר, בתנאים מסוימים, את קיומן של היהדות, הנצרות והדת הזורואסטריית בשלטון האסלאם. המשפטנים המוסלמים מסכימים כולם שאין הפסוק חל על בני דתות אשר נוצרו אחרי שהאסלאם בא לעולם. עמדה זו מסבירה מדוע הבהאים והאחמדים אינם זוכים לשום סובלנות שהיא בעולם האסלאם. מחקרו של פרופ' פרידמן גם מבהיר שהדינים החלים בחצי האי ערב שונים מאלה שחלים בכל מקום אחר: בחצי האי ערב אין לאפשר את קיומה של שום דת פרט לאסלאם, אפילו אם היא דת מונותאיסטית אשר קיומה מותר באזורים אחרים הנתונים לשלטון מוסלמי.

המחקר של פרופ' פרידמן מנתח את השאלה הזאת וכן את הגישות ההלכתיות השונות כלפי אנשים שהיו מוסלמים ונטשו את האסלאם. פרק מיוחד מוקדש לדיני הנישואים המעורבים בהלכה המוסלמית. הוא מבהיר את מעמדה של אישה יהודייה או נוצרייה בבית בעלה המוסלמי ומסביר את הסיבות לדין הקובע שגבר מוסלמי רשאי לשאת לאישה יהודייה או נוצרייה, אך אישה מוסלמית אינה רשאית להינשא לגבר שאינו מוסלמי.

על הישגיו זכה פרופ' פרידמן בפרס לנדאו 2003.

Yohanan Friedmann, *Tolerance and Coercion in Islam: Interfaith Relations in the Muslim Tradition*, Cambridge: Cambridge University Press, 2003 (Second [digital] printing, 2006)

גניזת קהיר – צוהר לחיי אבותינו

פרופ' מרדכי עקיבא פרידמן, אוניברסיטת תל־אביב

הגניזה נתגלתה בסוף המאה התשע־עשרה בבית הכנסת על שם עזרא שבקהיר העתיקה, הוא בית כנסת "הירושלמים" של ימי הביניים. יותר משלוש מאות אלף קטעים שרדו בגניזה, הן כתבי קודש יקרי ערך מכל סוג הן כתבי חול חשובים מכל סוג. הכול בגניזה: מקרא ותלמוד, שירה ופיוט, פילוסופיה, שאלות ותשובות, חיבורי הלכה ואמונות ודעות, מרשמי תרופות, מגיה, שטרי אירוסין, כתובות וגטין, מכתבים אישיים, מכתבי סוחרים וחשבונותיהם, ענייני קהילה ועסקי הפרט. כתבי היד המקוריים נכתבו בכל הארצות שיהודים הגיעו אליהן, מספרד ועד הודו. בתקופה הקלסית של חקר הגניזה, מן המאה העשירית עד למאה השלוש־עשרה, לא חיו היהודים בגטאות אלא באו במגע עם שכניהם הלא יהודים בכל תחומי החיים. הגניזה נעשתה אפוא מקור ראשון במעלה לחקר החברה היהודית והמוסלמית, לחקר הסחר הבינ־לאומי בים התיכון ובאוקיינוס ההודי ועוד. בהרבה תחומים חוללה הגניזה מהפכה גמורה בידיעותינו. נמצאו תגליות מופתיות על גדולי ישראל, כמו הרב סעדיה גאון, יהודה הלוי והרמב"ם, אך גם תיאורים מרתקים של החיים היומ־יומיים, ענייני חומר וענייני רוח. אולם בשל הכמות האדירה של קטעים, מצב הישמרותם הגרוע ופיזורם כיום בספריות על פני תבל התקדם המחקר בעצלתיים במשך כמה דורות. תפנית חשובה חלה עם מחקריו של פרופ' שלמה דב גויטיין (1985–1900). הוא סקר את כלל קטעי הגניזה שבערבית־יהודית (ערבית בינונית באותיות עבריות) ובעברית ותיאר את חברת היהודים על היבטיה השונים כנציגת החברה היס־תיכונית.

פרופ' עזרא פליישר יישם אותה שיטה של בדיקת כל האוספים, זיהוי כל הקטעים שהם מושא המחקר וסידורם במפעל לחקר השירה והפיוט בגניזה שהקים. בזכות אלפי הקטעים שסודרו ופוענחו במפעל הוא משמש בית היוצר לכל מחקר רציני בשירה, בפיוט ובתפילה בעת העתיקה ובימי הביניים.

מורשתו התרבותית העשירה של עם ישראל בארץ ישראל בימי קדם, שנחשפה בחקר הפיוט, נתגלתה בתחומים רבים אחרים. פרופ' מרדכי עקיבא פרידמן הצליח לשחזר מעשרות קטעים את המסורות הייחודיות לכתובת הכתובה בארץ ישראל. הנישואין נקראו "שותפות", והמשך השותפות היה תלוי ברצון הצדדים לקיימה באהבה. תנאי מיוחד ייפה את כוחה של האישה כמו את כוחו של האיש לפתוח בהליכי גירושין אם האהבה הפכה בעיניה לשנאה.

היהודים היו שותפים מלאים גם בסחר הבין-לאומי. אחד מיסודות הכלכלה בעולם היה הסחר שבין ארצות הים התיכון להודו ולשאר ארצות המזרח הרחוק, שמהן יובאו פלפל, תבלינים, צמחי מרפא וסחורות יקרות אחרות. בשרידי הגניזה גילה פרופ' גויטיין מאות מכתבים מן הסוחרים שנסעו הלך וחזור להודו ועסקו בעסקי היבוא ויצוא הללו. אין בעולם שום אוסף דומה של תעודות מן הסחר באוקיינוס ההודי בימי הביניים. המכתבים האלה מעידים עדות ברורה לא רק על החברה היהודית במאות האחת-עשרה והשתים-עשרה במצרים ובצפון-אפריקה, ספרד, תימן והודו, אלא אף על ניהול הפעילות הכלכלית הבין-יבשתית ההיא בכלל. פרופ' פרידמן השלים את האוסף ובידו מתפרסמת ההדרתו. שישה כרכים כבר יצאו לאור ועוד שניים כעת בדפוס.

חקר הגניזה משנה את פני מדעי היהדות ומדעי האסלאם ואת חקר החברה והכלכלה בימי הביניים בכלל ובוודאי יוסיף לשנותם עוד שנים רבות.

על הישגיו אלה זכה פרופ' פרידמן בפרס מכון בן-צבי בשנת 1982 ובשנת 2011.

מעמד האישה היהודייה בימי הביניים

פרופ' אברהם גרוסמן, האוניברסיטה העברית בירושלים

התמורות שחלו במעמדה של האישה היהודייה בימי הביניים בארצות האסלאם ובאירופה הנוצרית הן מנושאי מחקריו החשובים של פרופ' אברהם גרוסמן. הוא הרים תרומה מקורית חשובה לחקר נושא זה ופרסם מאמרים רבים עליו בעברית ובלועזית ושני ספרים: (1) "חסידות ומורדות: נשים יהודיות באירופה בימי הביניים"; (2) "והוא ימשול בך? האישה במשנתם של חכמי ישראל בימי הביניים". הספר הראשון עוסק במעמדה של האישה היהודייה במשפחה ובחברה בהשוואה מקיפה למציאות בחברה המוסלמית ובחברה הנוצרית בנות הזמן. הספר השני בודק את מקומה של האישה במשנתם של עשרים מחכמי ישראל הגדולים בימי הביניים, ובכללם חכמי הלכה, פילוסופים, מקובלים ומשוררים. הממצאים מבוססים בין השאר על מקורות ארכיוניים ועל כתבי יד.

עם הנושאים שנבחנו בספר "חסידות ומורדות" יש למנות את תדמית האישה, גיל הנישואים, שידוכים ובחירת בן הזוג, מונוגמיה ופוליגמיה, חלקן של הנשים בפרנסת המשפחה, מעמדה הכלכלי של האישה, השכלת נשים וחינוכן, חלקן של הנשים בחיי הדת ובטקסים המשפחתיים, אלימות כלפי נשים, גרושות ואלמנות. אחד הממצאים החשובים של המחקר הוא מאבקן של הנשים לשיפור מעמדן, עניין שלא נחקר קודם לכן. מאבק זה התקיים בעיקר במרכזים היהודיים שבאירופה הנוצרית, אך גם במרכזים היהודיים שבאגן הים התיכון ובמיוחד במצרים. המאבק החל במאה האחת-עשרה, צבר תאוצה רבה והגיע לשיאו במאה השלוש-עשרה. פרופ' גרוסמן הראה שהגורם העיקרי להתפתחות דרמטית זו כפול: התפתחות דומה בחברה הנוצרית באירופה באותה עת וחלקה החשוב של האישה בפרנסת המשפחה. בשל היעדרות בעלים מבתיהם לצורך המסחר הבין-לאומי הפכו הנשים להיות "אדוני הבית". הוריהן העשירים הורישו גם להן חלק חשוב מממונם, וכך הפכה האישה להיות עצמאית ובלתי תלויה בבעלה מבחינה כלכלית. עם

הישגיהן הבולטים של הנשים יש למנות את המונוגמיה, חופש התנועה, התעלמות מחוקי הצניעות (תופעה שאין לה אח ורע במרכזים היהודיים שבארצות האסלאם), תפיסת מקום חשוב בחיי הדת ובטקסים המשפחתיים ועוד.

אחת התופעות המרשימות בהתפתחות זו, שאף היא לא נחקרה בעבר, היא תמיכתם החשובה של כמה חכמים במהפכה שהתחוללה במעמדן של הנשים היהודיות. חכמים אלה ידעו היטב שהם סוטים מן ההלכה התלמודית, אך ייחסו למציאות החדשה משמעות חברתית עמוקה שאי אפשר להתעלם ממנה, ולכן העניקו לנשים היתר הלכתי לקיים מצוות עשה שהזמן גרמן, לקיים להן סדרי תפילה נפרדים ובמיוחד לסחור עם שליטים נוצרים אגב שהייה בבתיהם, תוך התעלמות ברורה מההלכה הקפדנית בנושא זה. מקצת החכמים נימקו את נכונותם להתעלם מחוקי הצניעות בטענה שהנשים בזמנם נאמנות למסורת היהודית בקפדנות ואפשר לסמוך עליהן. האמרה התלמודית "נשים דעתן קלה" שוב איננה תקפה, שהרי הנשים הוכיחו בגזרות תתנ"ו (1096) כי הן נכונות למסור את נפשן ואת נפשות ילדיהן על קידוש השם. עם החכמים שהיו נכונים לסייע לנשים יש למנות את רש"י, רמב"ם, רבנו תם, ר' יהודה החסיד, ר' מנחם המאירי, קלונימוס בן קלונימוס וגדליה אבן יחיא. הנה דוגמאות:

גאוני בבל חייבו את הבעלים לתת גט לנשותיהם מיד עם תביעתן את הגט, בתוך שמירה מלאה של כל זכויותיהן הכלכליות.

רבנו גרשום מאור הגולה אסר את הפוליגמיה ואת גירוש האישה בעל כורחה.

רש"י ביטל את חובת האישה האלמנה שאין לה ילדים להתייבם. כל תירוץ שהיא תעלה לסירובה להתייבם יתקבל. כמו כן הטיף לבעלים בתקיפות רבה לכבד את נשותיהם ולהימנע מכל פגיעה בכבודן, וקבע עונשים קשים למי שיפר איסור זה.

הרמב"ם התיר לאישה ה"קטלנית" (שנפטרו שני בעליה הראשונים) לשוב ולהינשא. ר' שמחה משפירא והמאירי התירו לאישה שנלקחה בשבי לשוב אל בעלה ואל חיק משפחתה. הוטלו עונשים חמורים מאוד על בעלים שנהגו באלימות כלפי נשותיהם.

ר' אליהו קפשאל קבע שאין להורים זכות למנוע מילדיהם להינשא לבחירי לבם, שהרי הכתוב בתורה "ואהבת לרעך כמוך" מחייב אותם להבין ללבם ולאפשר לאהבתם להתממש.

אלו דוגמאות מעטות בלבד להמחשת המהפכה שחלה במעמדה של האישה היהודייה בימי הביניים. אמנם יש דוגמאות גם להתפתחויות שליליות, כגון האשמת נשים בכישוף והחמרה בידי הצניעות בארצות האסלאם, אך התמורות החיוביות רבות הן.

בחקר מקומה של האישה במשנתם של חכמי ישראל בימי הביניים עמד פרופ' גרוסמן גם על המניעים המשוערים לעמדתם של חכמים, כגון השפעת החברה הסובבת, מקומה של האישה בחיי הכלכלה ובחיי הדת ועולמו המנטלי של החכם כפי שעולה מבדיקת מכלול יצירתו וקורות חייו. מחקריו של פרופ' גרוסמן על מעמד האישה הם בבחינת תרומה מקורית חשובה לחקר נושא חשוב שהיה מוזנח במידה רבה.

על הישגיו אלה זכה פרופ' גרוסמן בפרס ביאליק 1997 ובפרס ישראל 2003.

ספרייה כמקור היסטורי

פרופ' איתן קולברג, האוניברסיטה העברית בירושלים

אחד ממחקריו העיקריים של פרופ' איתן קולברג עוסק בספרייתו של עלי בן מוסא אבן טאווס (1193-1266), מלומד שיעי שחי בעיראק בתקופת הפלישות המונגוליות. אבן טאווס היה לא רק סופר פורה אשר חיבר כשישים ספרים אלא אף חובב ספרים מושבע, ובמשך עשרות בשנים

הוא רכש ספרים ושקד על העתקתם של ספרים לספרייתו הפרטית. בדרך כלל ידוע רק מעט על ספריותיהם של מלומדים מוסלמים בימי הביניים; אבן טאווס הוא יוצא דופן, שכן על ספרייתו אפשר ללמוד פרטים רבים ביותר מפתביו: הוא מרבה לצטט בהם מתוך חיבורים שעמדו לרשותו, אשר רובם ככולם השתייכו לספרייתו. על פי עדותו שלו, ספרייה זו כללה חיבורים רבים בנושאים כגון יסודות הדת, נבואה ואמאמה, הלכה, היסטוריה, פרשנות הקוראן, תפילות, גנאלוגיה, רפואה, דקדוק, שירה, אלכימיה ואסטרונומיה.

מספר הכותרים בספרייה היה 1,500 בערך – מספר מרשים ביותר לפי אמות המידה המקובלות במזרח בתקופתו, והוא גדול פי כמה וכמה מהמספרים הנקובים באשר לספריות במערב־אירופה במאה השלוש־עשרה. לאבן טאווס היה עניין רב בפרטים טכניים של כתיבי היד שהיו ברשותו, כגון מידותיהם ותאריך העתקתם; לעתים הוא מציין את מספר הדף ואף את מספר השורה של הקטע שהוא מצטט. ציטוטים אלה מדויקים להפליא, כפי שאפשר ללמוד מהשוואתם אל מהדורות מודרניות של החיבורים שבהם מדובר. חיבוריו של אבן טאווס שהגיעו לידינו מכילים ציטוטים מתוך 670 ספרים בערך. ספרים אלה היו פרי עטם של מחברים שיעים וסונים כאחד, ובכך יש ראייה שמלומדים שיעים בני התקופה לא הסתגרו בדל"ת אמותיהם אלא קראו והכירו גם חיבורים לא שיעיים. כשליש מהחיבורים שאבן טאווס מזכיר לא הגיעו לידינו, וכמה מהם נודעו רק בזכותו.

ספריו של אבן טאווס וההתייחסויות הנרחבות והמדויקות לחיבורים שבספרייתו מאפשרים הצצה נדירה לעולמו האינטלקטואלי של מלומד בשלהי תקופת הזוהר העבאסית, ושחזור ספרייתו מוסיף נדבך חשוב לידיעותינו על אודות הספרות הערבית של ימי הביניים, ועל ערכה כמקור היסטורי.

על הישגיו אלה, וכן על מחקריו בדוקטרינה ובהיסטוריה השיעית, זכה פרופ' קולברג בפרס רוטשילד למדעי הרוח ובפרס א.מ.ת. למזרחנות.

ראו: Etan Kohlberg, *A Medieval Muslim Scholar at Work: Ibn Tāwūs and His Library*, Leiden: E.J. Brill, 1992

הפשיזם כ"ימין מהפכני" באירופה

פרופ' זאב שטרנהל, האוניברסיטה העברית בירושלים

מחקריו של פרופ' זאב שטרנהל בתחום המחשבה המדינית המודרנית סובבים סביב שני מוקדים עיקריים, והם בבחינת שני מעגלים: המעגל החיצוני, הרחב, עניינו חקר המסורת של האנטי־נאורות מאז המאה השמונה־עשרה ועד אמצע המאה העשרים, ואילו המעגל הפנימי מתמקד בחקר הימין הרדיקלי והפשיזם. בעבודתו של פרופ' שטרנהל ארבעה חידושים עיקריים:

החידוש הראשון הוא טביעת המונח האנליטי "ימין מהפכני" לתיאור תופעה חדשה שצמחה בסוף המאה התשע־עשרה על רקע המודרניזציה המהירה של יבשת אירופה. תופעה זו מושתתת על שני יסודות: שלילת הערכים האוניברסליים של הליברליזם והדמוקרטיה בשם הערכים הייחודיים של הלאום, ושלילת תכניו האינטלקטואליים של הליברליזם מתוך קבלת הדין של הכלכלה הליברלית. הימין המהפכני ראה בַּניצול קטגוריה פסיכולוגית ולא בעיה כלכלית, ולפיכך נחיתות וניכור חברתיים נתפסו אצלו לא כמצבים אובייקטיביים הנובעים ממעמדו של היחיד במערכת הייצור, כפי שחשב קרל מרקס, אלא כתחושה סובייקטיבית שאפשר להתגבר עליה בכוח האחדות הלאומית. אחרי מלחמת העולם הראשונה ניתן למרכיבים עיקריים אלה של הימין המהפכני באיטליה השם "פשיזם".

החידוש השני הוא הקביעה שהפשיזם הוא קודם לכול תופעה תרבותית אירופית כוללת ורק אחרי כן תופעה פוליטית. זה היה סוד הצלחתו האמיתי בכל רחבי אירופה. נקודת המוצא של הפשיזם הייתה המחשבה שאין, ולא תהיה בטווח הנראה לעין, חלופה הולמת לכלכלה הקפיטליסטית, אך

לעומת זאת כבר גובשה חלופה לתכנון הפילוסופיים והאידיאולוגיים של הליברליזם. לפיכך שלא כתפיסה שמקורה במרקסיזם, שמהות המהפכה היא שינוי יסודי של הסדר החברתי והכלכלי, העמיד הפשיזם את התפיסה שהמהפכה תהיה אידיאולוגית, מנטלית ופוליטית אך לא תערער על הלגיטימיות של מבנה החברה והכלכלה. היא תקעקע את הערכים ה"בורגניים" – חירות ושוויון פוליטיים, דמוקרטיה ושלטון החוק – אך לא את החברה הבורגנית הקיימת. נוסף על כך הראה פרופ' שטרנהל כי תפיסת המדינה הפשיסטית כמדינה השולטת בכל תחומי החיים אינה אלא מיתוס: המדינה לא עיצבה את הפעילות החברתית והכלכלית ולא פגעה בדפוסי החזקת הקניין והשליטה בו – היא רק ניסתה לרתום את העצמה החברתית והכלכלית לשירות המטרות הלאומיות.

עבודתו של פרופ' שטרנהל הדגישה, בניגוד לתפיסה המקובלת, כי הפשיזם הוא אידיאולוגיה מגובשת ואוטונומית לא פחות מהליברליזם ומהסוציאליזם. הפשיזם קדם למלחמת העולם הראשונה, ולכן אינו תוצר של מלחמה זו ואינו שייך באורח בלעדי לתקופה שבין שתי המלחמות. פרופ' שטרנהל עמד על זרמי העומק התרבותיים שהעלו את הפשיזם, והוא רואה בהם את הסיבה העיקרית למשבר הגדול באירופה במחצית הראשונה של המאה העשרים. לשיטתו, מלחמת העולם הראשונה אינה יכולה להסביר לבדה את עליית הפשיזם והנאציזם. "המלחמה הגדולה" יצרה את התנאים הפסיכולוגיים – תחושת המשבר וההתפוררות – שאפשרו למסורת האנטי־נאורות להזין כוח אידיאולוגי ופוליטי גדול, אך לא המלחמה יצרה את הפשיזם. בדומה לזה אין בכוחם של המשברים הפיננסיים והכלכליים של שנות העשרים והשלושים של המאה העשרים לספק הסבר כולל. אחרי הכול, אבטלה המונית ואינפלציה פגעו גם בארצות שבהן לא עלו לא הפשיזם ולא הנאציזם.

החידוש השלישי: אי אפשר להסביר את אירופה של המאה העשרים בלי להכיר בחשיבותה העצומה של מחשבת האנטי־נאורות בעיצוב התפתחותה של התרבות האירופית מאז אמצע המאה השמונה־עשרה. אכן, המשבר האירופי של המאה העשרים לא היה רק פוליטי אלא קודם כול תרבותי ואינטלקטואלי. פרופ' שטרנהל הראה שהאנטי־נאורות לא הניחה יסודות לאנטי־מודרניות אלא יצרה מודרניות אחרת, שהייתה חלופה כוללת, פילוסופית, אידיאולוגית ומנטלית למודרניות הרציונליסטית. יסודותיה של מודרניות זו הונחו במאה השמונה־עשרה ופותחו במשך המאה התשע־עשרה. שתי מסורות אלה נאבקו במשך 150 השנים שקדמו למלחמת העולם הראשונה.

החידוש הרביעי הוא כי שורשיו האידיאולוגיים של הפשיזם נעוצים בצרפת, שהייתה החברה הליברלית המתקדמת ביותר באירופה, ולא באיטליה. על כן המרד בליברליזם ובדמוקרטיה הקדים לפרוץ בצרפת לפני ארצות אחרות.

על הישגיו אלה זכה פרופ' שטרנהל בשני תוארי כבוד מטעם ממשלת צרפת, *Commandeur des* ו-*Palme Académiques* "אביר מסדר מדעי הרוח והאמנויות", בפרס ישראל ובפרס מפעל חיים מטעם האגודה הישראלית למדעי המדינה.

מחקר השוואתי של ציוויליזציות

פרופ' ש"נ אייזנשטדט, האוניברסיטה העברית בירושלים

פרופ' שמואל נח אייזנשטדט היה הדמות המרכזית בשדה המחקר של הסוציולוגיה בישראל בחמישים השנים האחרונות. הוא נחשב בעולם לאחד מגדולי החוקרים ומאלה שהשפיעו רבות על המחקר הסוציולוגי ועל תחומי דעת אחרים. מחקריו וכתבתו הם בתחומים שונים של מדעי החברה והרוח ועוסקים בסוגיות כלל־עולמיות של שינוי חברתי, דמוקרטיה, מודרניות ופונדמנטליזם. מתוך מחקר השוואתי והיסטורי של ציוויליזציות שונות הוא ניתח מוסדות, תהליכים ורעיונות, וחלק נכבד מעבודתו יוחד לציוויליזציה היהודית ולחברה הישראלית. בניגוד להנחה שהעולם יתאים את עצמו למודרניות המערבית, הוא הראה שחברות נעשות מודרניות מתוך שמירה על מסורת ייחודית, וכי אין מודרניות אחת בלבד אלא צורות רבות של מודרניות.

בגישתו של פרופ' אייזנשטדט למחקר הוא הדגיש את חשיבותן של פתיחות והפריה הדדית בין אסכולות תאורטיות שונות בתת-תחומי המחקר בסוציולוגיה, ומחקריו עצמם הם מופת לגישה השוואתית מורכבת ועשירה, שמשלבת, משווה ומנגידה רעיונות, ועם זאת יוצרת סינתזה מקיפה.

על הישגיו המרשימים זכה פרופ' אייזנשטדט במספר גדול של פרסים, ובהם פרס רוטשילד ופרס ישראל, פרס בלצן הבין-לאומי ופרס הולברג בנורווגיה, הנחשב למקבילו של פרס נובל בתחום מדעי הרוח והחברה.

הפסיכולוגיה של המטא-קוגניציה – לדעת שאני יודע

פרופ' אשר קוריאט, אוניברסיטת חיפה

פרופ' אשר קוריאט תרם להבנת התהליכים הקוגניטיביים העומדים ביסוד תחושת הידיעה ותחושת הביטחון הסובייקטיבי המלווה את האמונות וההחלטות שלנו. השאלה איך אנחנו יודעים שאנחנו יודעים, ואיך אנחנו יכולים להיות בטוחים בידע שלנו, העסיקה פילוסופים ואנשי מדע משחר הימים. פרופ' קוריאט בחן שאלות אלו מבחינה פסיכולוגית, הציע תאוריות משפיעות ותרם ידע אמפירי בחקר התחום ההולך ומתרחב של "מטא-קוגניציה". לעומת המחקר הפסיכולוגי של תהליכים קוגניטיביים, העוסק בתהליכי עיבוד מידע כגון תפיסה, קשב, זיכרון, שפה, שיפוט וקבלת החלטות, המחקר של תהליכים מטא-קוגניטיביים עוסק בתהליכי-על שבהם האדם עוקב אחרי התהליכים הקוגניטיביים של עצמו, מנטר את פעולתם ומכוון אותם לפי מטרותיו. עבודותיו של פרופ' קוריאט תרמו להבנה של שתי הפונקציות המרכזיות של המערכת המטא-קוגניטיבית – ניטור ושליטה. תהליכי ניטור מתרחשים בכל השלבים של עיבוד קוגניטיבי – כאשר אנחנו קולטים ולומדים חומר חדש, כאשר אנחנו מנסים להעלותו מן הזיכרון, וגם לאחר שהעלינו אותו מהזיכרון ואנחנו נדרשים לפעול על פיו. בכל השלבים הללו יש השלכות לתוצאות הניטור על השליטה: אנחנו מווסתים את התהליכים הקוגניטיביים לפי תוצאות הניטור ולפי מטרותיו של העיבוד הקוגניטיבי.

מחקריו של פרופ' קוריאט על הניטור המטא-קוגניטיבי שופכים אור על פן הביניים בין תהליכים לא מודעים הפועלים אוטומטית לבין תהליכים מודעים ונשלטים. הם רומזים על האפשרות שהחויה הסובייקטיבית, שהיא לב לבה של התודעה, מעוצבת למעשה על ידי תהליכים לא מודעים. אולם בהיותה מודעת, ממלאת חוויה זו תפקיד חשוב בשליטה ובהכוונה של ההתנהגות. פרופ' קוריאט הצביע במחקריו על הרמזים המהווים את אבני היסוד לתחושות המטא-קוגניטיביות המלוות את עיבוד המידע בשלבים השונים. הוא הראה כיצד אבני יסוד אלו אחראיות לעובדה שהניטור המטא-קוגניטיבי שלנו בדרך כלל מדויק, אבל עלולות גם להטות את התחושות הסובייקטיביות וליצור אשליות ידע. מחקריו הצביעו גם על דרכים למניעת אשליות ידע אלו או לתיקונן.

בניגוד לדעה הרווחת בקרב חוקרי המטא-קוגניציה שלפיה השפעת הניטור על השליטה היא חד-כיוונית, מחקריו של פרופ' קוריאט מראים שההשפעה היא דו-כיוונית: לעתים קרובות התחושות הסובייקטיביות שלנו מתבססות על ההיזון החוזר שאנחנו מקבלים מתהליכי השליטה. כשאנחנו לומדים חומר, תחושת הביטחון שנצליח לזכור אותו מושפעת מכמות הזמן שהשקענו בלמידתו: ככל שהזמן רב יותר – הביטחון מועט יותר. כשאנחנו פותרים בעיה, אנחנו בטוחים פחות בפתרון ככל שהזמן שהקדשנו לו רב יותר. מנגד, אם חשוב לנו לזכור פריט אחד יותר מאחרים או לפתור נכון בעיה אחת יותר מאחרות, הביטחון עולה עם כמות הזמן שהושקעה. לממצאים אלו השלכה על השאלה שהעלה הפילוסוף-פסיכולוג ויליאם ג'יימס בדבר הקשר שבין החוויה הסובייקטיבית להתנהגות: האם אנחנו בורחים משום שאנחנו מפחדים או שאנחנו מפחדים משום שאנחנו בורחים?

לעבודותיו של פרופ' קוריאט השלכות חשובות בתחום החינוך והלמידה, קבלת החלטות, עדויות

משפטיות ועוד. המודל שפותח (בשיתוף עם פרופ' גולדשמיד) משמש רבות במחקרים על ההשפעה של תהליכי ויסות מטא-קוגניטיביים על דיוק הזיכרון בהקשרים משפטיים ובכלל. על הישגיו אלה זכה פרופ' קוריאט בפרס רוטשילד למדעי החברה, בפרס אוסולד-קולפה מאוניברסיטת וירצבורג בגרמניה, ובפרס ישראל לחקר הפסיכולוגיה.

הכתיבה ההלכתית-מדינית של הרמב"ם

פרופ' יעקב בלידשטיין, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

ההגות היהודית של ימי הביניים כוללת מרכיב מדיני בולט. תכניה של הגות זו אינם רק דתיים, רוחניים או פרשניים אלא גם פוליטיים. בלידשטיין מיישם תזה זו בכתיבה המיימונית. מטבע הדברים הרמב"ם נוגע בכתיבה ההלכתית שלו במרחב הנושאים שהמסורת היהודית מתייחסת אליהם, ומתברר כי הוא נוגע בצורה מפורשת וגלויה גם בתכנים המדיניים של מסורת זו. ספר השופטים של הרמב"ם הוא ספר העוסק במרכיבים המדיניים הנלווים של ההלכה המיימונית – מלכות, מלחמה, רעיון הייצוג וההסכמה, מגמות של הממשל, מקורות הסמכות המדינית, סמכויות המדינה, חלוקת סמכויות והיחס לנכרים. לא בכדי סיים הרמב"ם את משנה תורה במסכת מדינית, קרי ספר שופטים והלכות מלכים, כשם שפתח את הספר במסכת מטפיזית, הלכות יסודי התורה.

בלידשטיין נדרש גם להיבטים המשתלבים פחות בפרשה המדינית. מנגד נושאים דתיים מובהקים נראים בפרספקטיבה זו מדיניים ביסודם, נושאים שביצועם מאפשר את הקיום החברתי-מדיני של הציבור.

ברם הרמב"ם אינו מספק משנה מדינית שהותאמה לקהילה שחיה את חייה בגולה, והוא כמעט שאינו נוגע בעובדה זו. הרמב"ם מצייר ציבוריות לאומית כמעט אידאלית אם כי ברור שבדיקה לעומק תגלה שהרמב"ם מודע מאוד להוויה הגלוית שבה התקיימה החברה היהודית בזמנו. מבחינה זאת הדמות המשיחית המביאה גאולה מדינית משתלבת במחשבה המיימונית ואיננה סרח עודף שלה.

למרות אופייה החברתי של הגות זו, אין להכחיש את העובדה כי היחיד עומד במרכז העניין המיימוני, וכך האידאל המיימוני מתגשם דרך חיי האינטלקט של הפרט. בסופו של דבר מתאפשר לפרט לחיות חיי שלמות אינטלקטואליים אם החברה מתארגנת בצורה המאפשרת זאת. גם ההלכה, שהרמב"ם הביע נאמנות מלאה ומופתית לה, הן בסגנון חייו הן ביצירתו האינטלקטואלית, באה לאפשר מלאות זו.

מרכזיותו של הממד המדיני הולכה את הרמב"ם לסכם סיכום מלא ומקיף את התורה שבעל פה וכן את התאוריה של תורה זו. כך נוצר מקום לדיון בזקן ממרה, הדמות המסרבת להכיר הכרה מלאה בתורה זו, וכן בנביא היונק את סמכויותיו מספרה אחרת. רגישותו של הרמב"ם הביאה אותו להכיר במלואם בתהליכי החקיקה (דבר שהגאונים קודמיו לא התייחסו אליו במלואו) וכן להתייחס להליכי השינוי עד כדי ביטול הלכות. בולטים באופיים המדיני מושגי הנבואה ואפילו דיני כיבוד הורים, מושגי בן סורר ומורה.

אין בעבודתו של בלידשטיין ניסיון ליישב את הסתירות שבכתיבה המיימונית – משימה שהעסיקה את מיטב לומדי הרמב"ם בדורות עברו. העיצוב הספרותי, העריכה המדוקדקת המתבטאת בהבלטה או בצמצום, בחירת המגמה הכוללת והמקיפה – אלה הם התכנים שבלידשטיין הכניס לחקר הרמב"ם שלו ודרכו נכנסו למחקרם של אחרים. על לומד הרמב"ם להיות קשוב לדיוק שבכתיבה המיימונית, במשנה תורה ההלכתית לא פחות מאשר במורה נבוכים הפילוסופי.

מחקר זה מכיר גם בממד ההיסטורי של החיבורים המיימוניים. לא אחת מנסה המחקר, כולל מחקרו של בלידשטיין, להתחקות אחר תנועות בנות הזמן שהרמב"ם היה מודע לקיומן ואף

התפלמס עמן. דוגמה ממשית תשמש התנועה הקראית. אמנם אין להפריז בנוכחותם של הקראים בכתיבה ההלכתית של הרמב"ם, אך גם אין להתעלם ממנה. מתברר כי הרמב"ם התפלמס עם הקראות אך גם היה מוכן לאמץ חלק מעמדותיה. הוא גם היה מעורה ושותף בפולמוס הפנים-יהודי, והדבר התבטא ביחסיו עם גאונים וראשי גולה ובהלכה שפסק בעניינם.

על הישגיו אלה זכה פרופ' בלידשטיין בפרס ירושלים במדעי היהדות ובפרס ישראל בחקר מחשבת ישראל.

המשפט בשירות החברה

פרופ' אהרן ברק, פרופ' נילי כהן ועמיתיהם

חקר המשפט בישראל נותן ביטוי למגמות סותרות. מצד אחד עליו לסייע לעיצוב המשפט במדינת ישראל ולקידומו, ולפיכך יש לפרסמו בעברית, ומצד אחר רבים מהמחקרים נושאים אופי כללי, וראוי לחשוף אותם בזירה העולמית. בין כך ובין כך, הן במישור המקומי הן במישור הבין-לאומי רכשה האקדמיה המשפטית בישראל מעמד מרשים ביותר.

במישור המקומי הרשות המחוקקת והרשות השופטת בישראל נסמכות במידה רבה על הכתיבה האקדמית, המסייעת בפיתוח הדין, בעיצובו ובשינויו. כתביהם של חוקרים ישראלים משמשים דרך קבע בסיס להלכות של בתי המשפט, והם מסייעים גם בעבודת החקיקה.

חוקרי משפט ישראלים לא מעטים, רובם ככולם חברי האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים, תרמו לחקר המשפט בתחומים האלה: פרופ' אהרן ברק פרסם סדרה בת חמישה ספרים העוסקת בתורת הפרשנות בכל תחומי המשפט. כן פיתח את התחום החוקתי בספרו על עקרון המידתיות; פרופ' יצחק אנגלרד פיתח את תחום הנזיקין ופרסם מחקר העוסק בפיצויים לנפגעי תאונות דרכים. המהדורה השלישית של מחקר זה פורסמה בשנת 2005; פרופ' דניאל פרידמן חקר ופיתח את התחום של דיני עשיית עושר ולא במשפט; פרופ' פרידמן ופרופ' נילי כהן פרסמו סדרה בת ארבעה ספרים העוסקת בדיני חוזים של מדינת ישראל. הספר האחרון בסדרה, המוקדש לתרופות בשל הפרת חוזה, יצא בשנת 2011.

כל חוקרי המשפט החברים באקדמיה היו מעורבים במיזם הקודיפיקציה של המשפט האזרחי בישראל מטעם משרד המשפטים. במיזם זה, שבראשו עמד פרופ' ברק, כונסו תחת קורת גג אחת כל החוקים האזרחיים של מדינת ישראל – החוקים הנוגעים לקניין, לחוזים ולנזיקין ודיני עשיית עושר ולא במשפט. המטרה הייתה ליצור מבנה אנליטי שבו יוצגו תחילה ההוראות הכלליות המשותפות לכלל ענפי החקיקה, ולאחר מכן החוקים המיוחדים לכל ענף. עבודת ההכנה לפרויקט זה הניבה את הצעת חוק דיני ממונות, התשע"א-2011, הנדונה עתה בכנסת לקראת הפיכתה לחוק מחייב.

עוד במישור המקומי – כדי להנגיש ספרים קלסיים בתחום המשפט לציבור הישראלי תרגם פרופ' אנגלרד וערך את הספר "אלוהים, מדינה, טבע, אדם: הנס קלזן על תאולוגיה פוליטית ומשפט טבעי" (ירושלים: המכון הישראלי לדמוקרטיה, 2010).

אשר למישור הבין-לאומי – המחקר המשפטי בישראל, שבעבר נחשב בעל אופי מקומי, פרץ את גבולות המדינה, והדבר בא לידי ביטוי בפרסומם של מחקרים חשובים רבים של חוקרים ישראלים במיטב הבמות בעולם. ספרו של פרופ' ברק, *The Judge in a Democracy*, יצא בהוצאת אוניברסיטת פרינסטון (2006). ספרו *Proportionality* יצא בשנת 2012 בהוצאת אוניברסיטת קיימברידג'.

כמו כן חוקרים ישראלים שותפים במיזמים המעצבים דינים בעולם. פרופ' כהן הייתה שותפה במחקר השוואתי לעיצובם של כללי המשפט האירופי החלים על משא ומתן לקראת כריתתו של

חווה. המחקר שבו נכלל חיבורה פורסם בשנת 2005 בהוצאת אוניברסיטת קיימברידג'. פרופ' פרידמן ופרופ' כהן היו פעילים בעיצובו של ה־Restatement Third, Restitution and Unjust Enrichment מטעם ה־American Law Institute, המאגד את כלליו של המשפט האמריקאי בתחום של דיני עשיית עושר ולא במשפט. בשנת 2011 התקיים באוניברסיטת בוסטון כינוס בין־לאומי בחסות ה־American Law Institute לציון סיום המיזם. כך 92 של הביטאון Boston University Law Review, שיצא לאור ביוני 2012, כולל את פרות הכינוס.

על הישגיהם המשפטיים זכו החוקרים לשפע של פרסים יוקרתיים, וקצרה יריעה זו מלהכילם.

על מדע הכלכלה בישראל

בסוף שנות השלושים ובתחילת שנות הארבעים של המאה העשרים התגבשה והתבססה הגישה המודרנית בחקר הכלכלה. זו כללה שני מרכיבים מרכזיים: (1) הפרדיגמה הנאוקלאסית, שבמרכזה האינדאל של העמדת התנהלותה של המערכת הכלכלית על דפוסי התנהגות רציונלית של הפרטים והיחידות המרכיבים אותה; (2) הכרה בקיומם של כשלי שוק – ובראשם הכשלים "הקיינסיאניים" – שבעטיים עלולה המערכת המקרו־כלכלית לקרטע גם כשכל הפרטים המרכיבים אותה עושים כמיטב יכולתם. ראשי החוקרים שביססו את הגישה הזאת באותה עת פעלו רובם ככולם בבריטניה ובארצות הברית.

השיח הכלכלי־אקדמי במדינת ישראל עם הקמתה ינק רובו ככולו מן המסורות הקונטיננטליות והיה זר בעיקרו לחשיבה הכלכלית שהלכה והתבססה בעולם דובר האנגלית. מצב זה התהפך באחת עם עלייתו ארצה משיקגו, בשנת 1949, של פרופ' דן פטינקין. נוסף על היותו של פרופ' פטינקין כלכלן מעולה וחוקר רב־פעלים, הוא ניחן גם במנהיגות אינטלקטואלית ובכריזמה מדעית יוצאות דופן, ועד מהרה נתגבשה סביבו קבוצה של תלמידים מעולים, רבים מהם "בוגרי" מלחמת העצמאות, שהרימו יחדיו את נס הכלכלה הנאוקלאסית.

בניגוד, אולי, לחוקרים חשובים בתחומים אחרים, פרופ' דן פטינקין לא ביקש לבנות לעצמו "חצר" בדמות חבר חוקרים שיוכשרו בצלמו ובדמותו ויכוננו אסכולה של חוקרים־בנוסח־פטינקין. את אלה מתלמידיו שנועדו להמשיך בלימודי מחקר בכלכלה הוא הפנה אל מחלקות מעולות לכלכלה באוניברסיטאות רבות, מתוך כוונה מפורשת שלכשישובו יכוננו יחדיו קהילה מדעית־כלכלית הטרוגנית ורב־ממדית ובה מגוון שלם של גישות. וכך היה. עד לסוף שנות השישים או תחילת שנות השבעים של המאה שעברה התקבצה בישראל קבוצת חוקרים צעירים מחוננים בכלכלה, קבוצה רבת פנים הן מבחינת תחומי ההתמחות והן מבחינת הגישה הבסיסית אל יסודות החשיבה הכלכלית. כך הגיעה המחלקה לכלכלה באוניברסיטה העברית בירושלים – ולימים גם זו שבאוניברסיטת תל־אביב – למעמד של מחלקה מובילה במחקר הכלכלי העולמי, הן בהיקף המחקר והן באיכותו.

במרביתם של תחומי המדע בישראל מתבצע המחקר הבסיסי רובו ככולו באוניברסיטאות. לא כן בכלכלה. כבר בשנות החמישים של המאה הקודמת נוסדו מסגרות חוץ־אוניברסיטאיות שבהן בוצע מחקר כלכלי – בסיסי ויישומי כאחד – ברמה גבוהה. עם אלה יש למנות את מכון פאלק, שנוסד ב־1956 בהנהגתו של פרופ' פטינקין, ואת מחלקת המחקר בבנק ישראל, שהחלה גם היא לפעול באמצע שנות החמישים, בניהולו של דוד כוכב. לימים נוספו עליהם עוד מוסדות חוץ־אקדמיים למחקר כלכלי, כגון במוסד לביטוח לאומי ובכמה מכונים פרטיים. תרומתה של פעילות חוץ־אוניברסיטאית זו למחקר הכלכלי בישראל הייתה חשובה ומרשימה.

בשנת 2008 כוננה המל"ג ועדת בדיקה בין־לאומית, בראשות פרופ' דייוויד קרפס מאוניברסיטת סטנפורד, שמשימתה הייתה להעריך את מצבו של תחום הכלכלה במערכת האקדמית הישראלית.

אף שמטבע הדברים התעניינה המל"ג בעיקר בהערכת הכלכלה כמסגרת של הכשרה אקדמית, לא יכלה הוועדה שלא להתייחס אל הכלכלה האקדמית גם כמסגרת של מחקר מדעי. הדוח שכתבה הוועדה עם סיום עבודתה נמסר למל"ג בחודש נובמבר 2008, והוא נפתח במילים אלה: "מצב הדיסציפלינה הקרויה כלכלה במוסדות הישראלים להשכלה גבוהה הוא בכי רע" (המונח במקור האנגלי הוא "dire", שפירושו בלשון העם הוא "על הפנים"). איך הגיעו הדברים לידי מצב עגום זה? הוועדה עצמה לא התיימרה להציע תשובה מלאה לשאלה זו, אך דומה כי אפשר להבחין בשתי תופעות שתרמו לכך: (1) שפל במספר המינויים האקדמיים במחלקות המובילות לכלכלה מאז שנות השמונים; (2) נטייה גוברת והולכת של כלכלנים בכירים לקבל עליהם תפקידים מחוץ לסביבתם האקדמית-מחקרית ואף מחוץ למערכת האקדמית כולה. מכל מקום, הכלכלה כמקצוע אקדמי-מדעי חוותה בדור האחרון תקופה של האטה מחקרית ומורל אקדמי ירוד. יוצאת מכלל זה היא המחלקה לכלכלה באוניברסיטת בן-גוריון בנגב, שהתבססה והתקדמה באורח מרשים בשנים האחרונות.

בשנת 1992 הוקם באוניברסיטה העברית בירושלים, בהמרצת נשיא האוניברסיטה פרופ' יורם בן-פורת, המרכז לחקר הרציונליות. שני חתני פרס נובל בכלכלה קשורים למרכז זה – פרופ' ישראל אומן (חבר המרכז מיום היווסדו) ופרופ' דניאל כהנמן (עמית במרכז זה כתריסר שנים). שישה חברים נוספים במרכז זה הם כלכלנים או חוקרים של סוגיות מתחום הכלכלה. הפעילות המדעית-מחקרית המתרחשת במרכז לחקר הרציונליות היא לכל הדעות איכותית, שוקקת ורבת יוקרה. במובן זה נמשכת בו המסורת המפוארת של המחלקות לכלכלה שמלפני תקופת המשבר. אלא שהכלכלה הנחקרת במרכז מצויה, רובה ככולה, בקצה המתמטי-אורטי של החקר הכלכלי, וספק אם יש בה כדי "לגאול" את הקהילה הכלכלית האקדמית מן השפל שבו היא שרויה.

נספח 5: רשימת המכללות האקדמיות

מכללות אקדמיות^{59 / 60}

אפקה – המכללה האקדמית להנדסה בתל-אביב
 בית הספר הגבוה לטכנולוגיה בירושלים – מכון לב
 בצלאל – אקדמיה לאמנות ועיצוב בירושלים
 האקדמיה למוסיקה ולמחול בירושלים
 המוסד האקדמי נצרת
 המכללה האקדמית אחוה
 המכללה האקדמית אשקלון
 המכללה האקדמית גליל מערבי
 המכללה האקדמית הדסה בירושלים
 המכללה האקדמית כנרת בעמק הירדן
 אורט בראודה – המכללה האקדמית להנדסה
 המכללה האקדמית להנדסה וטכנולוגיה אורט הרמלין נתניה
 המכללה האקדמית להנדסה ירושלים
 המכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון
 המכללה האקדמית לישראל ברמת-גן
 המכללה האקדמית נתניה
 המכללה האקדמית ספיר
 המכללה האקדמית עמק יזרעאל ע"ש מקס שטרן
 המכללה האקדמית צפת
 המכללה האקדמית של תל-אביב-יפו
 המכללה האקדמית תל-חי
 המסלול האקדמי – המכללה למינהל
 המרכז האקדמי כרמל
 המרכז האקדמי למשפט ולעסקים
 המרכז האקדמי פרס
 המרכז האקדמי רופין
 המרכז הבינתחומי הרצליה

59 מכללה אקדמית: מוסד שהוכר על ידי המל"ג והוסמך להעניק תואר אקדמי.
 60 בשנת תשע"ג (לאחר איסוף הנתונים לדוח זה) הוכר המרכז האוניברסיטאי באריאל כאוניברסיטה.

המרכז ללימודים אקדמיים באור יהודה
הקריה האקדמית אונו
המכון הטכנולוגי חולון
מרכז אקדמי ירושלים – מכון לנדר
מכון שכטר למדעי היהדות
מכללת שערי משפט – המכללה ללימודי משפט
מרכז האקדמי דן
שוקר – בית ספר גבוה להנדסה ולעיצוב

מכללות אקדמיות לחינוך:⁶¹

המכללה האקדמית לחברה ואמנויות
"אמונה" – המכללה האקדמית להוראת האמנות והחינוך
מיסודן של מכללת "אפרתה" ומכללת אמונה
"חמדת הדרום" – המכללה התורנית לחינוך
אלקאסמי – מכללה אקדמית לחינוך
המכללה האקדמית בית ברל
המכללה האקדמית הדתית לחינוך ליפשיץ
המכללה האקדמית הדתית לחינוך שאנן
המכללה האקדמית הערבית לחינוך בישראל
תלפיות – המכללה האקדמית לחינוך
המכללה האקדמית לחינוך גבעת וושינגטון
מכללת אוהלו בקצרין – מכללה אקדמית לחינוך ולספורט
המכללה האקדמית לחינוך ע"ש קיי
המכללה להוראת הטכנולוגיה מיסודה של המכללה למינהל
המכללה לחינוך גופני ולספורט ע"ש זינמן במכון וינגייט
המכללה לחינוך ע"ש א.ד. גורדון
המכללה האקדמית לחינוך ע"ש דוד ילין
המרכז האקדמי לעיצוב ולחינוך ויצו חיפה, ע"ש נרי בלומפילד
מכללה אקדמית לחינוך אורות ישראל, מיסודן של מכללת אורות ישראל ומכללת מורשת יעקב
אורנים – המכללה האקדמית לחינוך
מכללה ירושלים

61 מכללה אקדמית לחינוך: מוסד שהוכר על ידי המל"ג והוסמך להעניק תואר אקדמי בחינוך.

מכללת הרצוג להכשרת מורים ליד ישיבת הר עציון

מכללת לוינסקי לחינוך

מכללת סכנין להכשרת עובדי הוראה

סמינר הקיבוצים – המכללה לחינוך לטכנולוגיה ולאמנויות

מסלולים אקדמיים במכללות אזוריות באחריות אוניברסיטאות

המכללה האקדמית גליל מערבי – באחריות אוניברסיטת בר-אילן

המכללה האקדמית אשקלון – באחריות אוניברסיטת בר-אילן

המכללה האקדמית כנרת בעמק הירדן – באחריות אוניברסיטת בר-אילן

המכללה האקדמית צפת – באחריות אוניברסיטת בר-אילן

המכללה האקדמית אחוה – באחריות אוניברסיטת בן-גוריון