

תפוקות מחקר ופיתוח בישראל

פרסומים מדעיים | ביבליומטריה

דוח מסכם 2024

| אלה ברזני

המועצה הלאומית
למחקר ופיתוח אזרחי
Israeli National Council for Civilian R&D



מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית



מדע וטכנולוגיה | 01/25



סקרים ומחקרים לגיבוש מדיניות מו"פ לאומית עבור המולמו"פ פרסומים מדעיים – ביבליומטריה

דוח מסכם במסגרת: סקרים ומחקרים לגיבוש מדיניות מו"פ לאומית
עבור המועצה הלאומית למחקר ופיתוח (המולמו"פ)

אלה ברזני

אין לשכפל כל חלק מפרסום זה ללא רשות מראש ובכתב מהמועצה הלאומית למחקר
ופיתוח ו/או ממוסד שמואל נאמן מלבד לצורך ציטוט של קטעים קצרים במאמרי
סקירה ופרסומים דומים תוך ציון מפורש של המקור.
הדעות והמסקנות המובאות בפרסום זה הן על דעת המחבר/ים ואינן משקפות בהכרח
את דעת מוסד שמואל נאמן.

תוכן עניינים

5.....	הקדמה
6.....	טכנולוגיות מזון / FoodTech - מיפוי תפוקות מחקר
7.....	תפוקות מחקר בישראל ובעולם
10.....	נתוני ציטוטים והשפעה מדעית
12.....	שת"פ בינלאומי
12.....	קשרי אקדמיה-תעשייה ומיפוי פטנטים בתחומי הפודטק
16.....	דיון וסיכום
18.....	אנרגיות מתחדשות - מיפוי תפוקות מחקר
19.....	תפוקות מחקר בישראל ובעולם
23.....	נתוני ציטוטים והשפעה מדעית
25.....	שת"פ בינלאומי
26.....	קשרי אקדמיה-תעשייה ומיפוי פטנטים בתחומי האנרגיות המתחדשות
28.....	דיון וסיכום
30.....	Horizon 2020 - מיפוי פרסומים ישראלים
30.....	תפוקות מחקר
34.....	תחומי מחקר
36.....	נתוני ציטוטים
37.....	שת"פ בינלאומי
38.....	סיכום
40.....	סקירת מחקרים ומדדים חדשים

רשימת איורים

- איור 1: מספר פרסומים שנתי בנושאי פודטק - ישראל בהשוואה לעולם..... 7
- איור 2: דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים בנושאי פודטק בין השנים 2019-2023..... 8
- איור 3: פרסומי המוסדות הישראליים בנושאי פודטק בשנים 2019-2023..... 9
- איור 4: התפלגות הציטוטים לפרסומי פודטק ישראלים שפורסמו בשנים 2019-2023..... 10
- איור 5: השת"פ הבינלאומי של ישראל בתחומי הפודטק [2019-2023]..... 12
- איור 6: סיווג מערכת הפודטק לקטגוריות ראשיות ומשניות..... 13
- איור 7: סטארטאפים ישראלים בתחומי הפודטק²⁸ - התפלגות לפי שנת הקמה..... 14
- איור 8: סטארטאפים ישראלים בתחום הפודטק²⁸ - התפלגות לפי מיקום גיאוגרפי..... 15
- איור 9: מספר בקשות הפטנטים הישראליים בתחומי הפודטק..... 16
- איור 10: מספר פרסומים שנתי בנושאי אנרגיות מתחדשות - ישראל בהשוואה לעולם..... 19
- איור 11: דירוג המדינות לפי מס'פר הפרסומים בנושאי אנרגיות מתחדשות בין השנים 2019-2023..... 21
- איור 12: פרסומי המוסדות הישראליים בנושאי אנרגיות מתחדשות בשנים 2019-2023..... 22
- איור 13: התפלגות חוקרי האנרגיה הישראליים לפי אוניברסיטאות ומכללות^{45,46}..... 23
- איור 14: התפלגות הציטוטים לפרסומים ישראלים בנושאי אנרגיות מתחדשות בשנים 2019-2023..... 24
- איור 15: השת"פ הבינלאומי של ישראל בתחומי האנרגיות המתחדשות [2019-2023]..... 25
- איור 16: סטארטאפים ישראלים בתחומי האנרגיות המתחדשות - התפלגות לפי שנת הקמה..... 26
- איור 17: סטארטאפים ישראלים בתחומי האנרגיות המתחדשות⁵¹ - התפלגות לפי מיקום גיאוגרפי..... 27
- איור 18: מספר בקשות הפטנטים הישראליים בתחומי האנרגיות המתחדשות..... 28
- איור 19: מספר הפרסומים שנכתבו בסיוע מימון Horizon 2020..... 31
- איור 20: דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים שנכתבו במסגרת H2020..... 32
- איור 21: התפלגות הפרסומים שנכתבו בסיוע מימון H2020 לפי אוניברסיטאות ישראליות..... 33
- איור 22: השתתפות האוניברסיטאות הישראליות בפרויקטים של H2020..... 33
- איור 23: התפלגות המאמרים הישראליים שנכתבו במסגרת H2020 לפי תחומי מחקר - 2014-2023..... 35
- איור 24: התפלגות המאמרים הישראליים שנכתבו במסגרת H2020 לפי מקורות פרסום - 2014-2023..... 36
- איור 25: ממוצע הציטוטים למאמרים הישראליים שנכתבו במסגרת H2020..... 37
- איור 26: קשרי השת"פ של ישראל בכתיבת מאמרי H2020 - 2014-2023..... 38

הקדמה

באוגוסט 2024 פורסם¹ כי שלוש אוניברסיטאות ישראליות ממוקמות בין מאה האוניברסיטאות הטובות בעולם לפי דירוג שנחאי, בפעם השנייה ברציפות. מכון ויצמן דורג במקום ה-69, האוניברסיטה העברית במקום ה-81, הטכניון במקום ה-85; בנוסף, הטכניון דורג במקום ה-11 מבין האוניברסיטאות הטכנולוגיות בעולם. הייצוג של ישראל ע"י 3 מוסדות הינו מרשים, במיוחד אם לוקחים בחשבון שלצרפת וגרמניה יש 4 מוסדות במאיה הראשונה (לכל מדינה). כ-60% מהציון בשיטת הדירוג של מדד שנחאי מבוסס על נתוני מאמרים וציטוטים, מה שמצביע על החשיבות של מיפוי ומעקב אחר הנתונים הביבליומטריים של מדינת ישראל.

דוח זה מציג ממצאים שהופקו במהלך אנליזה ביבליומטרית שהתבצעה במהלך שנת 2023 על השינויים שחלו בתפוקות המחקר של מדינת ישראל לאורך הזמן ובהשוואה בינלאומית. הדוח מספק תובנות לגבי פרודוקטיביות המחקר והאימפקט המדעי של תוצרי המחקר בזירה העולמית.²

שני הפרקים הראשונים מציגים מיפוי של תפוקות מחקר בנושאים שמשדר המדע הציב בקדמת סדרי העדיפויות לשנת העבודה 2023 – פודטק ואנרגיות מתחדשות. בפרקים אלו מוצגים מאפייני הפרסומים הישראלים בתחומים הנבחרים עם השוואה לזירה העולמית, התפלגות הפרסומים לפי אוניברסיטאות, נתוני ציטוטים והשפעה מדעית, מיפוי פטנטים וסטארטאפים ישראלים.

הפרק השלישי מציג מיפוי של הפרסומים המדעיים הישראלים שנכתבו במסגרת תכנית Horizon 2020, תוך ניתוח היקף הפרסומים, תחומי מחקר מרכזיים, נתוני ציטוטים ושת"פ בינלאומי.

הפרק הרביעי כולל סקירת מחקרים ומדדים חדשים ומתבסס על מאמרים שפורסמו בעולם במהלך שנת 2024 ועשויים להיות רלבנטיים לזירה הישראלית. העבודות שנסקרו כוללות התייחסויות לנושאים של מגדר באקדמיה, הערכת תפוקות מחקר, גורמים שמשפיעים על נתוני הציטוטים, פרסום בגישה פתוח (Open Access), ומדדים ביבליומטריים חדשים.

המקור העיקרי לנתונים הביבליומטריים שמוצגים בדוח זה הינו מאגר סקופוס³ של Elsevier; במקרים שבהם נעשה שימוש בנתונים משלימים ממאגר אחר – המקור מופיע בהערות המקורות לגרף.

¹ הישג לאקדמיה הישראלית: שלוש אוניברסיטאות בין 100 הטובות בעולם. כלכליסט. אוגוסט 2024 [מקור]

² תודה לד"ר ערן לק על היעוץ המקצועי בנושאי פטנטים

³ למאגר סקופוס יש חפיפה של כ-96-99% עם מקורות המאונדקסים במאגרים ביבליומטריים מקבילים (כמו Web of Science ו-Dimensions), כך שבחירת המאגר לא אמורה להשפיע על המגמות המתוארות בדוח זה

* Al-Jamimi, H. A., BinMakhashen, G. M., Bornmann, L., & Al Wajih, Y. A. (2023). Saudi Arabia research: academic insights and trend analysis. *Scientometrics*, 1-33.

טכנולוגיות מזון / FoodTech - מיפוי תפוקות מחקר⁴

לפי הערכות המומחים, בשלושים השנים הקרובות, אוכלוסיית העולם תגיע ל-10 מיליארד בני אדם. המשמעות היא שייצור המזון יצטרך לגדול בכ-70% כדי להבטיח מזון לכולם, תוך התחשבות בהשפעת החקלאות על הסביבה⁵. הפודטק (FoodTech) מתאר שימוש בטכנולוגיות חדשות שחלקן מפותח על ידי סטרטאפים כדי לחולל מהפכה בתחום המזון, לטובת בניית שוק יותר חכם, בריא, בר קיימא, דינמי ומהיר. היישום של טכנולוגיות פודטק נועד לספק דרכים חדשות וחלופות חכמות לשיפור תהליכי הייצור החקלאי וייצור המזון, כמו גם שרשרת האספקה וערוצי ההפצה.

ביטוי לעוצמת האקוסיסטם הישראלי ניכר בכך שמשרד המדע הציב את נושא הפודטק בקדמת סדרי העדיפויות בשנת העבודה 2023⁶. לפי נתוני רשות החדשנות (מאי 2024), ישראל ממוקמת במקום השני בעולם במספר הכולל של סטרטאפים והשקעות (אחרי ארה"ב); 12% מסך ההשקעות העולמיות בפודטק מנותבות לחברות ישראליות; כ-25% מההשקעות העולם בבשר מתורבת מגיעות לישראל⁷.

אחת התפוקות הבולטות של העשור האחרון היא העובדה שבינואר 2024 פורסם כי חברת אלף פארמס קיבלה אישור מקדים ממשרד הבריאות לשיווק הסטייק שהיא מייצרת מתרבית תאים⁸. בכך, הופכת ישראל למדינה הראשונה בעולם שמעניקה אישור טרום-שיווק עבור מוצר שאינו עוף מתורבת, והראשונה לאשר בשר מתורבת מכל סוג שהוא במזרח התיכון. לפי הערכת GFI מ-2024, תעשיית החלבון האלטרנטיבי יכולה לייצר 10 אלף משרות ברחבי הארץ ולתרום כ-2.5 מיליארד דולר לכלכלה המקומית^{9,10}. שוק הפודטק העולמי הוערך ב-260.07 ביליון דולר ב-2022 וצפוי להגיע לשווי של 360 ביליון דולר ב-2028¹¹. בפרק זה נציג מיפוי של תפוקות המחקר של ישראל בתחומי טכנולוגיות המזון עם השוואה לנתונים העולמיים¹².

⁴ תודה לפרופ' אייל שמעוני – מומחה פודטק וראש תחום בטחון מזון במוסד נאמן, על היעוץ המקצועי והסיוע בהכנת פרק זה

⁵ Numa, I. A. N., Wolf, K. E., & Pastore, G. M. (2023). FoodTech startups: Technological solutions to achieve SDGs. Food and Humanity.

⁶ עיקרי תכנית העבודה לשנת 2023. משרד החדשנות, המדע והטכנולוגיה. ינואר 2023. [\[מקור\]](#)

⁷ Israel Innovation Authority | Food for Thought. Haaretz. May 2024 [\[source\]](#)

⁸ הראשונים בעולם: אלף פארמס בדרך לשווק בקר מתורבת לציבור הישראלי. TheMarker. 17 ינואר 2024. [\[מקור\]](#)

⁹ במעבדה של פרופ' לבנברג קרה נס. עכשיו הוא גם שווה מיליארדים. גלובס. 31 יולי 2021. [\[מקור\]](#)

¹⁰ 73 סטרטאפים ו-1.2 מיליארד דולר: ענף החלבון האלטרנטיבי בישראל ממשיך לצמוח. TheMarker. מאי 2024 [\[מקור\]](#)

¹¹ Global food tech market size 2022-2028. Statista. Jun 16, 2023 [\[source\]](#)

¹² ניתוח הנתונים הביבליומטריים בפרק זה בוצע על בסיס מאגר סקופוס, בהתאם למתודולוגיה המתוארת במאמר:

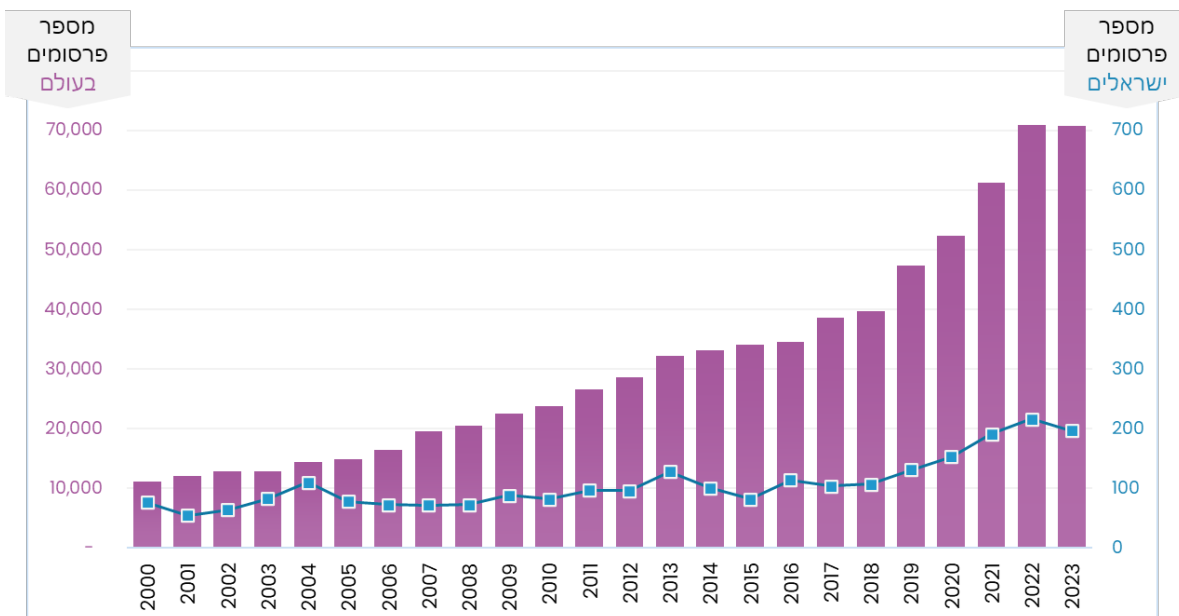
Munshi, A., Singla, A. R., Trivedi, K. J., Jegede, O. O., Abounde, O. O., Sonkar, S. K., ... & Rahimi, S. (2022). Scientometric-based knowledge map of food science and technology research in india. Journal of Scientometric Research, 11(3), 409-18..

תפוקות מחקר בישראל ובעולם

לפי נתוני דוח¹³ שוויצרי שפורסם בשנת 2021 ישראל נמצאת בחזית הפודטק העולמית ומדורגת במקום הראשון במדדי השקעות מו"פ, סטארטאפים והשקעות הון סיכון לנפש. לפי דוח של GFI Israel¹⁴ שפורסם בפברואר 2023 ישראל נמצאת במקום השני אחרי ארה"ב בנתוני השקעות גלובליות בתחומי החלבון האלטרנטיבי, עם 10% מכלל ההשקעות בעולם בשנים 2020-2022; מעבר לחברות המתמקדות במוצרים סופיים, גדל גם מספר החברות המתמקדות ברכיבים ובטכנולוגיות תומכות¹⁰. מחקר אקדמי מהווה את מנוע הצמיחה לחדשנות הטכנולוגית הנדרשת לפיתוח מוצרי חלבון אלטרנטיבי מהדור הבא; השקעות בסטארטאפים המבוססים על ידע אקדמי מהוות כמעט מחצית מההשקעות בתחום. ביוני 2022 משרד החדשנות, ביחד עם משרד החקלאות ו-GFI הכריזו על קול קורא להצעות מחקר בנושאי חלבון אלטרנטיבי בתקציב של למעלה מ-4 מיליון ש. מימון זה נועד לסייע ל-15 מחקרים שמתבצעים ע"י חוקרים מהטכניון (6 קבוצות מחקר); האוניברסיטה העברית (5 קבוצות מחקר); אוניברסיטת בר-אילן, חיא"ל (חקר ימים ואגמים לישראל), מכון וולקני ו-TRDC¹⁵ (קבוצת מחקר אחת בכל מוסד).

מספר הפרסומים הגלובלי בנושאי הפודטק מוצג באיור 1: מספר הפרסומים בעולם צמח פי 3 בשנים 2010-2023. מספר הפרסומים המדעיים שנכתבו בהשתתפות מחברים ישראלים גדל פי 2.4 באותה תקופה. שיעור הפרסומים הישראלים מכלל פרסומי העולם בנושא זה עמד על ממוצע של 0.3% בתקופה זו.

איור 1: מספר פרסומים שנתי בנושאי פודטק - ישראל בהשוואה לעולם



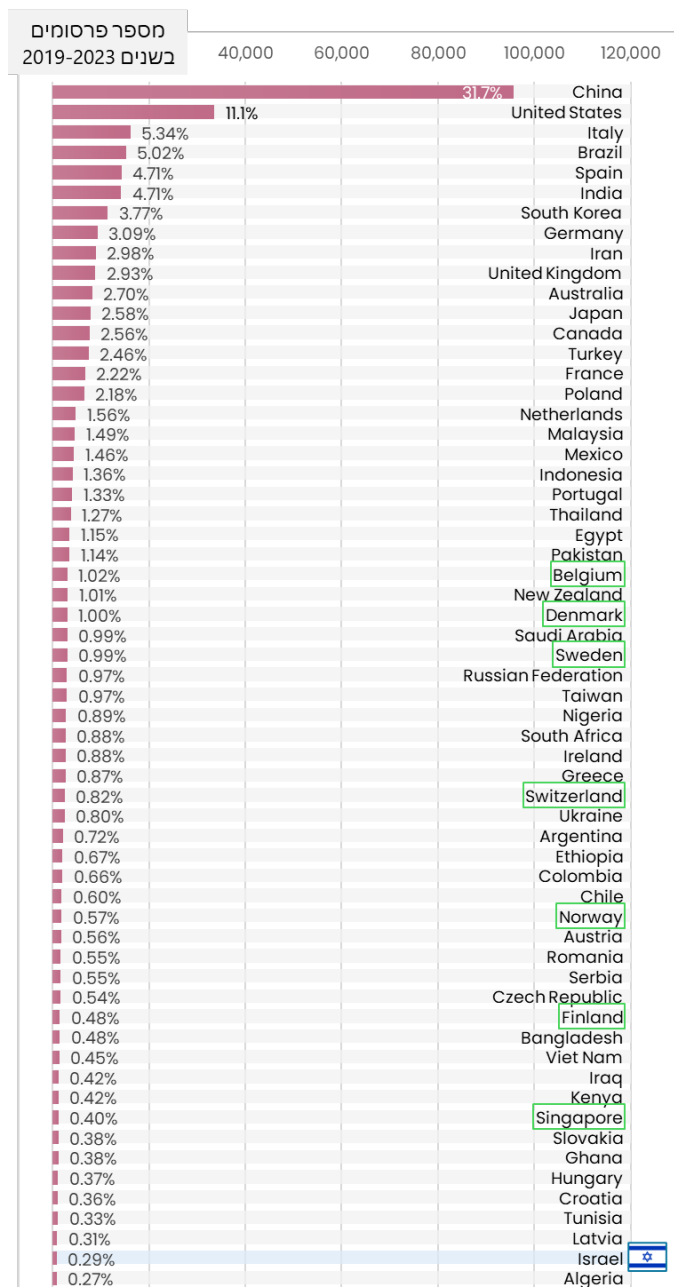
¹³ The Swiss FoodTech Ecosystem 2021. Swiss Food & Nutrition Valley and Accenture, 2021 [source]

¹⁴ Israel - State of Alternative Proteins. GFI Israel. February 2023

¹⁵ Triangle Research & Development Center [website]

איור 2 מציג דירוג של 60 המדינות המובילות במספר הפרסומים העוסקים בפודטק בין השנים 2019-2023. סין מובילה בדירוג עם 31.7% מפרסומי העולם בתקופה זו, ארה"ב במקום השני עם 11.1%. כ-40% מפרסומי הפודטק העולמיים בתקופה זו נכתבו בהשתתפות חוקרים מסין ו/או ארה"ב. ישראל מדורגת במקום ה-59¹⁶ עם שיעור של 0.3% מפרסומי העולם בתקופה שנבדקה. מדינות היחוס שדומות לישראל מבחינת גודל האוכלוסיה ומספר הפרסומים השנתי הכללי מסומנות במסגרת ירוקה.

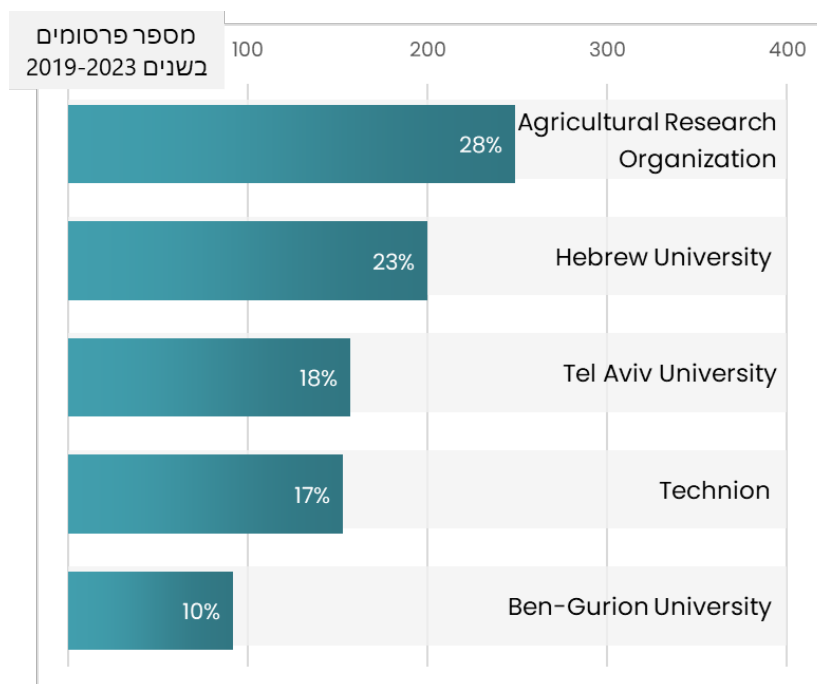
איור 2: דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים בנושאי פודטק בין השנים 2019-2023



¹⁶ במחקר דומה שהתבצע על נתוני WoS בשנים 2000-2018 ישראל דורגה במקום ה-20

איור 3 מציג את 5 המוסדות הישראליים המובילים במספר פרסומי הפודטק בשנים 2019-2023: חוקרי מינהל המחקר החקלאי (מכון וולקני - Agricultural Research Organization) שותפים לכתיבת 28% מהמאמרים¹⁷, האוניברסיטה העברית – 23%, אוניברסיטת ת"א – 18%, הטכניון – 17%, אוניברסיטת בן-גוריון – 10%¹⁸. לפי נתוני GFI¹⁰ בישראל יש למעלה מ-70 חוקרים שעוסקים בחלבון אלטרנטיבי באקדמיה; האוניברסיטה העברית והטכניון הכריזו על הקמת מרכזי מחקר ייעודיים למערכות מזון וחלבונים אלטרנטיביים. האוניברסיטה העברית מובילה במספר פרויקטי המחקר בתחומי החלבון האלטרנטיבי ובמספר הסטארטאפים שהוקמו כתוצאה מהמחקרים.

איור 3: פרסומי המוסדות הישראליים בנושאי פודטק בשנים 2019-2023



הקרן הלאומית למדע (ISF) השתתפה במימון של כ-6% מהמאמרים הישראליים בנושאי הפודטק (2019-2023); 5% מהמאמרים נכתבו בסיוע מימון של משרד החקלאות; מעניין לציין ש-9% מהמאמרים שנכתבו בהשתתפות חוקרים ישראלים פורסמו בסיוע מימון של הקרן הלאומית למדעי הטבע של סין¹⁹.

95% מהפרסומים המדעיים הישראליים התפרסמו בפורמט של מאמר, 5% התפרסמו כפרקים בספרים. 58% מהמאמרים התפרסמו במקורות פתוחים (Open Access). 13% מהפרסומים נכתבו בפורמט של מאמרי סקירה (Review).

¹⁷ 31% מהמאמרים של מכון וולקני נכתבו בשיתוף עם חוקרים מהאוניברסיטה העברית, 5% עם חוקרים מאוניברסיטת ת"א, 4% עם חוקרי בן-גוריון (לעיתים בשיתוף עם חוקרים ממוסדות נוספים)

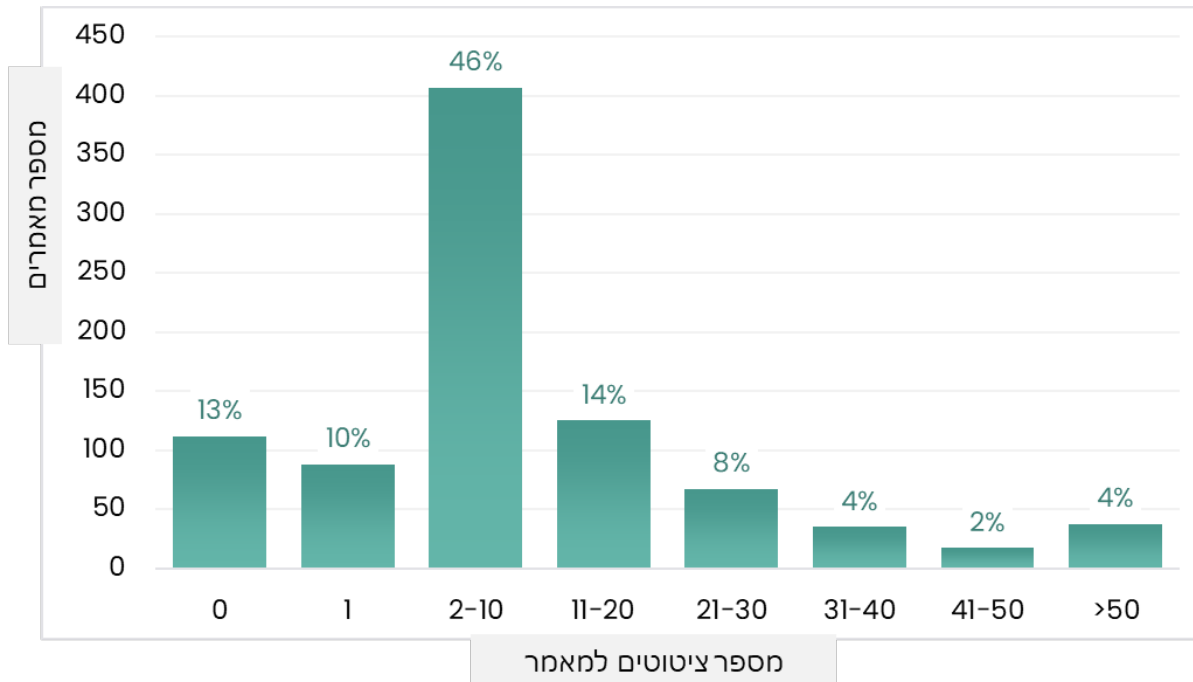
¹⁸ מאמר שנכתב ע"י מחברים מאוניברסיטאות שונות נספר באופן שווה עבור כל אחד מהמוסדות

¹⁹ National Natural Science Foundation of China

נתוני ציטוטים והשפעה מדעית

התפלגות הציטוטים²⁰ למאמרי הפודטק הישראליים שפורסמו בשנים 2019-2023 מתוארת באיור 4. ניתן לראות ש-87% מהפרסומים בתקופה זו צוטטו לפחות פעם אחת; 46% מהמאמרים זכו ל-10-2 ציטוטים, 4% מהמאמרים צוטטו למעלה מ-50 פעמים.

איור 4: התפלגות הציטוטים לפרסומי פודטק ישראלים שפורסמו בשנים 2019-2023



ממוצע הציטוטים לפרסום בקבוצת מאמרי הפודטק הישראליים הינו 12.6²¹ (2019-2023). הטבלה הבאה מציגה רשימה של 5 המאמרים המצוטטים²² ביותר בתקופה שנבדקה; הטבלה כוללת פרטים על המקורות בהם פורסמו והמחברים הישראליים שהשתתפו בכתיבת המאמרים. מעניין לציין ששניים מהמאמרים בעלי האימפקט הגבוה נכתבו ע"י פרופ' שולמית לבנברג - פרופ' להנדסה ביו-רפואית בטכניון וממייסדי חברת אלף פארמס. פרופ' לבנברג מספרת על יתרונות הבשר המתורבת בראיון⁹ שפורסם ב-2021: "אנחנו מסוגלים לקבוע בדיוק מה מרכיב את הסטייק. מאחוזי השומן, לערכים התזונתיים. היום, כשקונים סטייק אצל הקצב, כל נתח הוא אחר. אנחנו ב'אלף' קובעים אחוז שומן נתון, והוא יהיה זהה בכל הנתחים, ויכול להשתנות לפי דרישה. אנחנו מייצרים בשר ללא חיידקים - בלי אי קולי, בלי ליסטריה, וגם בלי אנטיביוטיקה, ויכולים למקסם את כמות החלבונים, להקטין את כמות השומן הרווי ולדאוג שיהיו ויטמינים בכמות גבוהה. גידול הבשר מחוץ לפרה מאפשר אופטימיזציה של התהליך בסביבה סטרילית שלא אפשרית במשקים החיים. אנחנו יכולים להשתמש

²⁰ כולל ציטוטים עצמיים

²¹ ממוצע הציטוטים לפרסום ללא חישוב מאמרי סקירה (review) הינו 11.6

²² הרשימה כוללת מאמרים שנכתבו ע"י 10 מחברים ומטה. ניתוח נתוני הציטוטים בוצע באפריל 2024.

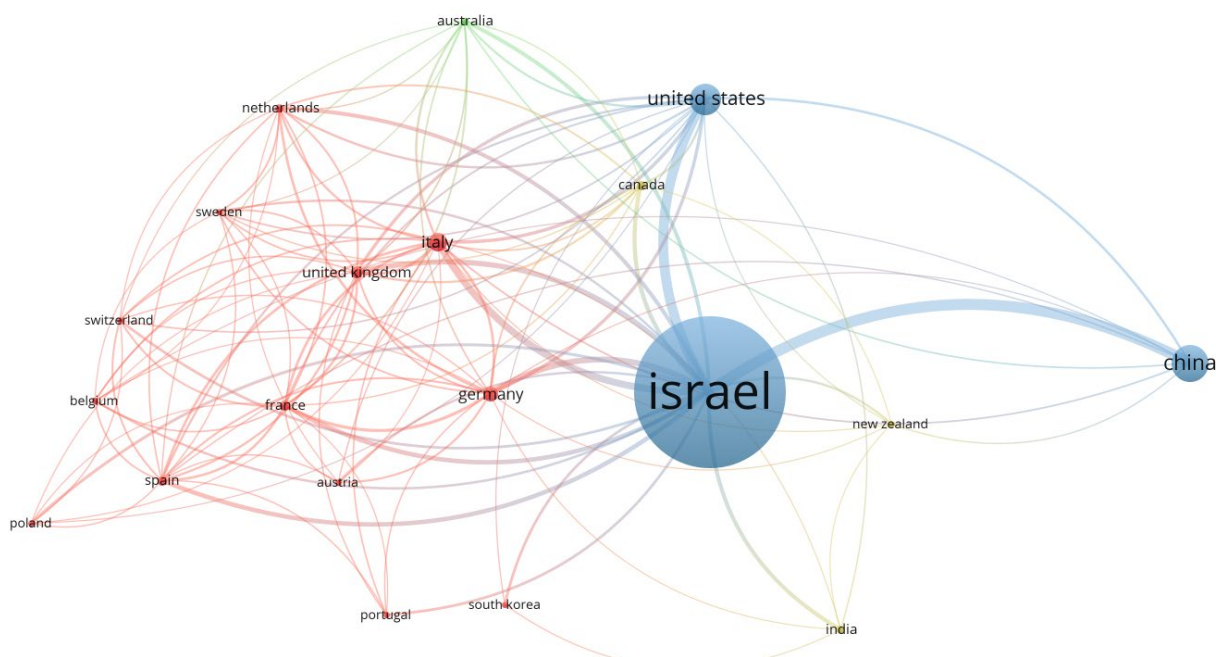
אך ורק בכמות האנרגיה הנדרשת לייצור הסטייק, ורק במים ובנוטריינטים הנדרשים לנו, ללא בזבז משאבים. וכל זה, בשלושה-ארבעה שבועות, לעומת שנתיים-שלוש בתעשייה המבוססת על שחיטה - הזמן הנדרש מלידת העגלים ועד שחיטתם. ואנחנו מונעים כמובן את כל מה שקשור לצער בעלי חיים, ואובדן שטחי טבע ופגיעה בכדור הארץ".

Title	Source	Israeli Author/s	Citations
Scientific, sustainability and regulatory challenges of cultured meat [* Review]	Nature Food 2020	Shulamit Levenberg / Technion, Aleph Farms	277 FWCI: 10.38
Textured soy protein scaffolds enable the generation of three-dimensional bovine skeletal muscle tissue for cell-based meat	Nature Food 2020	Tom Ben-Arye, Yulia Shandalov, Shahr Ben-Shaul, Shira Landau, Yedidya Zagury, Iris Ianovici, Neta Lavon, Shulamit Levenberg / Technion, Aleph Farms	185 FWCI: 18.00
Antibiotic resistance in foodborne bacteria [* Review]	Trends in Food Science and Technology 2019	Jacob Moran-Gilad / Ben-Gurion University, Ministry of Health	162 FWCI: 3.20
Extraction of proteins from two marine macroalgae, <i>Ulva</i> sp. and <i>Gracilaria</i> sp., for food application, and evaluating digestibility, amino acid composition and antioxidant properties of the protein concentrates	Food Hydrocolloids 2019	Meital Kazir, Yarden Abuhassira, Arthur Robin, Omri Nahor, Jincheng Luo, Alvaro Israel, Alexander Golberg, and Yoav D. Livney / Technion, Tel Aviv University, Israel Oceanographic & Limnological Research	149 FWCI: 7.83
Tissue Engineering for Clean Meat Production [* Review]	Frontiers in Sustainable Food Systems 2019	Tom Ben-Arye, Shulamit Levenberg / Technion	140 FWCI: 3.18

שת"פ בינלאומי

54% מפרסומי הפודטק הישראליים ב-2019-2023 נכתבו בשת"פ בינלאומי. המדינות המובילות בשת"פ עם ישראל בנושאי הפודטק בתקופה שנבדקה הן: סין - עם 18% מהפרסומים²³, ארה"ב - 14%, איטליה - 8%, גרמניה - 6%, ובריטניה - 5%. איור 5 מתאר באופן סכמטי את קשרי המחקר של ישראל בתחומי הפודטק לפי מספר המאמרים שנכתבו בשיתוף עם חוקרים מעשרים המדינות המובילות בשת"פ עם ישראל בשנים 2019-2023.

איור 5: השת"פ הבינלאומי של ישראל בתחומי הפודטק [2019-2023]



קשרי אקדמיה-תעשייה ומיפוי פטנטים בתחומי הפודטק

שת"פ בין-ארגוני במחקר ופיתוח משמש פלטפורמה ליצירת רשתות של זרימת ידע ולכן עשוי לתרום להשגת יתרון יחסי במערכת החדשנות. מאגד המזון Food IOT הוקם ב-2017 בהובלת פרופ' אייל שמעוני, במסגרת תכנית מגנט של רשות החדשנות. במאגד השתתפו 11 חברות תעשייתיות, 10 קבוצות מחקר מהטכניון, אוניברסיטת ת"א וקופ"ח כללית, ו-4 גופים משקיפים. מטרת המאגד: "פיתוח טכנולוגית איסוף, ניתוח ועיבוד מידע רב של חומרי גלם, תהליכי ייצור, הפצה וצריכת מזון באמצעות דיגיטציה של תהליכים רגישים וחיוניים בייצור והנגשת המידע, לכלל השחקנים בשרשרת הייצור והצריכה"²⁴. פעילות המאגד התבצעה באמצעות הקמת מערך משולב של אקדמיה ותעשייה,

²³ השותפים הסיניים העיקריים לכתיבת המאמרים: Guangdong Technion-Israel; 42% – Gansu Agricultural University; 27% – Institute of Technology Shanghai Jiao Tong University; 17% (חלק מהמאמרים נכתבו בשיתוף עם חוקרים ממדינות ומוסדות נוספים)

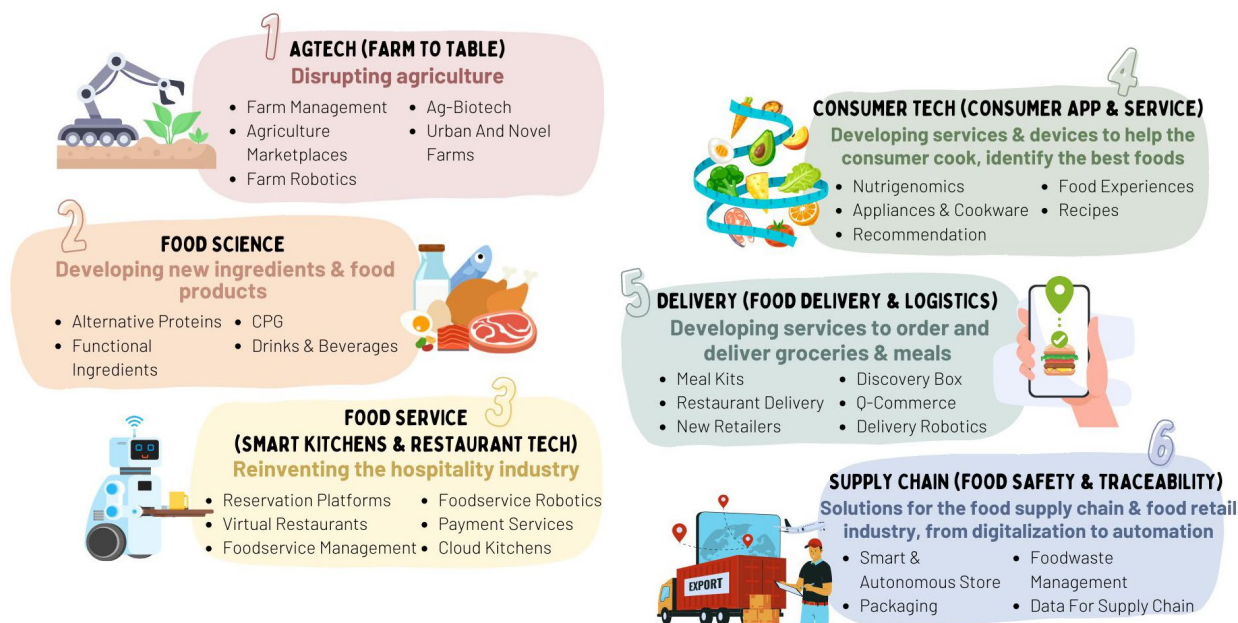
²⁴ מפגש התנעה למאגד FOOD IOT/Big Data. רשות החדשנות. 2017 [מקור]

של תעשייה מסורתית ותעשייה עתירת ידע, עם נציגים מעולמות תוכן מגוונים החל באנשי דאטה ובינה מלאכותית, ביולוגים גנטיקאים ומיקרוביולוגים, וכלה באנשי שרשראות אספקה.²⁵

באפריל 2022 רשות החדשנות אישרה את הקמתו של מאגד הבשר המתורבת²⁶, כדי לפתח שיטות ייצור חדשניות שיתאימו לייצור בקנה מידה תעשייתי ויעיל, על מנת להקנות יתרון יחסי לתעשייה הישראלית בשווקים בינלאומיים²⁷. במאגד משתתפות 14 חברות (בראשות תנובה) ו-10 מעבדות אקדמיות שפועלות ב-4 קבוצות עבודה משותפות שמתמקדות בפיתוח טכנולוגיות לגידול והתמיינות תאי מקור לתאי שריר ושומן, טכנולוגיות ביוראקטורים ופיתוח תהליך ייצור רציף, טכנולוגיות סקפולדים, טכנולוגיות ייצור מדיומי גידול ומרכיביהם. לפי התכנית - יושקעו במאגד כ-66 מיליון ש"ח על פני שלוש שנים, מחציתם על ידי הממשלה.

ניתן לסווג את האקוסיסטם של הפודטק ל-6 ענפים ראשיים ו-30 קטגוריות משנה שמתוארות באיור 6 (התרשים בוצע בהתאם לסיווג שמופיע במאמר שפורסם ב-2023⁵):

איור 6: סיווג מערכת הפודטק לקטגוריות ראשיות ומשניות



לפי נתוני דוח "The State of Global FoodTech Report" קיימות בעולם כ-5,300 חברות שעוסקות בפודטק, כ-1,300 מהן נמצאות בארה"ב⁵. בעמק הסיליקון, לונדון וישראל פועלים למעלה מאלף סטארטאפים שמושכים כ-30% מההשקעות בעולם. מערכת הפודטק בישראל כוללת חברות שעוסקות במגוון רחב של תחומים: חקלאות (agri-food), טכנולוגיות עיבוד מזון ואריזה, בטחון מזון, ייצור והפצה, חדשנות בפיתוח מוצרים ושיווק, עם דגש על פיתוח מרכיבים חדשניים, יצירת בשר

²⁵ Food IoT Consortium [[website](#)]

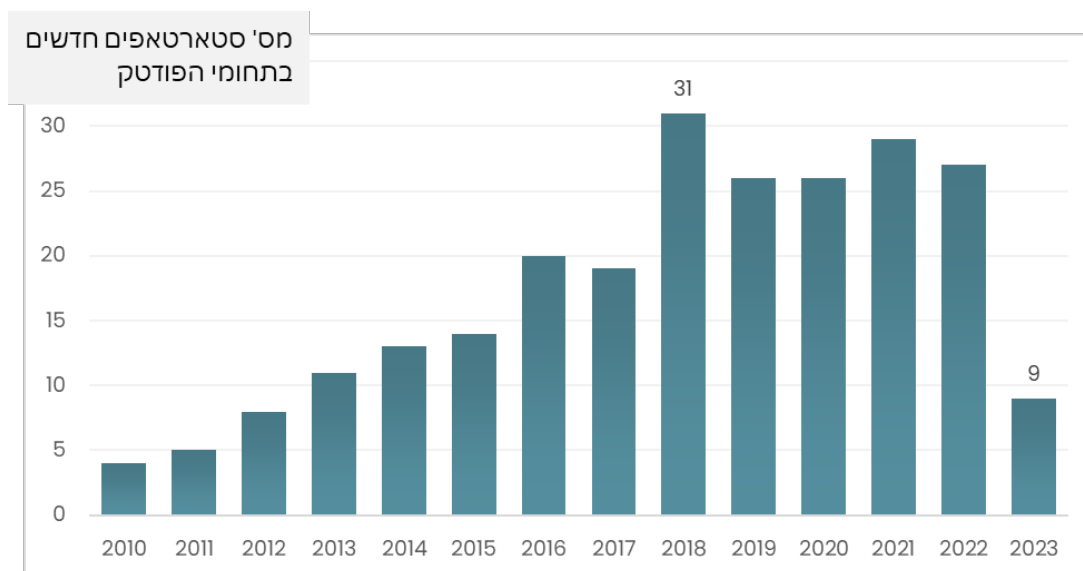
²⁶ The Cultivated Meat Consortium [[website](#)]

²⁷ רשות החדשנות תשקיע 60 מיליון שקל בבשר מתורבת. גלובס. 18 אפריל 2022 [[מקור](#)]

ודגים מתורבתים, טכנולוגיות להפחתת סוכר, ניצול היתרונות הרפואיים הטבעיים של מזון, תסיסה מדויקת (precision fermentation), שיפור שרשרת האספקה, פתרונות לסוגיית הכשרות ועוד.

לפי נתוני startupnationcentral מספר הסטארטאפים הישראליים שעוסקים בפודטק הינו 303; חברות אלו גייסו מימון כולל של B\$7 (Total Funding)²⁸. איור 7 מציג את התפלגות החברות הפעילות לפי שנת הקמה; קצב הצמיחה השנתי הממוצע בין השנים 2010-2020 הינו 24%, עם שיא של 31 חברות פודטק חדשות בשנת 2018 (6% מתוך 522 סטארטאפים ישראליים שהוקמו באותה שנה). ניתן לייחס את הירידה שהתחילה ב-2019 להאטה במשק שחלה בתקופת הקורונה. הצניחה החדה ב-2023 נראית מדאיגה ועלולה להיות תוצאה של האירועים הפוליטיים והבטחוניים שהתרחשו בישראל בשנה זו, וכן להאטה העולמית בהשקעות בתחום, כיוון שההחזר על ההון איטי ופחות מתאים לכלי המימון של קרנות הון סיכון.

איור 7: סטארטאפים ישראליים בתחומי הפודטק²⁸ - התפלגות לפי שנת הקמה



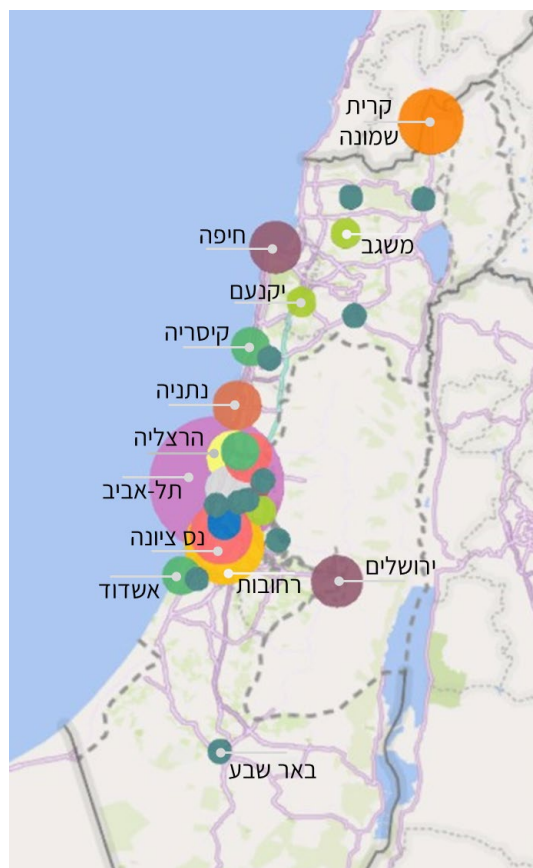
מיפוי החברות הישראליות לפי מיקום גיאוגרפי מוצג באיור 8: 20% מהחברות ממוקמות בתל-אביב; במקום השני - רחובות עם 7% מהחברות; המקבץ השלישי בגודלו (5% מהחברות) נמצא באיזור קרית שמונה שהוגדר כ"עמק הפודטק" הישראלי²⁹. פרופ' אייל שמעוני – ראש תחום בטחון מזון במוסד נאמן: "איזור קרית שמונה הוגדר ע"י המדינה כמקום שבו יפותח אקוסיסטם של פודטק, בכלל זה מכללת תל חי ומיגל - וההכרזה על הקמת המכון הלאומי למו"פ במזון בתל חי, חממת פרש-סטרט, מרכז מיקרו תעשייה בתחום, ועוד. עם תחילת הלחימה באוקטובר 2023 נעצרה דה-פאקטו כל הפעילות באיזור. חלק מהפעילות חודש ע"י מעבר ארעי למקומות חלופיים. המשך היעדר פעילות לאורך זמן עלול להיות מכת מוות לתנופה שהחלה באיזור - בשילוב הגירה שלילית ועצירת ההשקעות מחו"ל. באשכול הנגב המערבי - החקלאות הוגדרה אסטרטגית - כחלק מהותי מפיתוח האיזור. הוקמה חממה טכנולוגית בלב שדרות Nature Growth, ומכללת שדרות מנסה לקבל הכרה בתכנית

²⁸ לפי חיפוש שבוצע באתר finder.startupnationcentral.org באפריל 2024

²⁹ האיזודאות בצפון מאיימת על הישגי "עמק הפודטק". TheMarker. נובמבר 2023 [מקור]

אגריטק ופודטק. למעשה, הפעילויות נעצרו ודרוש מאמץ ניכר כדי להשיב אותן למסלול - גם כדי שיהיו אבן שואבת לאוכלוסיה חזקה באיזור". הצעות למתווה סיוע עבור חברות הזנק בעוטף הצפוני הוצגו בישיבת ועדת המדע והטכנולוגיה שהתקיימה ב-28.5.24 בנושא הצלת תעשיית ההייטק ופיתוח מנועי צמיחה בצפון.³⁰

איור 8: סטארטאפים ישראלים בתחום הפודטק²⁸ – התפלגות לפי מיקום גיאוגרפי³¹



באנליזה שבוצעה ע"י StartUs Insights ב-2022 וכללה 5,065 סטארטאפים ברחבי העולם נמצא כי 10 הטרנדים והחידושים המובילים בטכנולוגיות מזון הם: [1] חלבון אלטרנטיבי; [2] תוספי מזון (nutraceuticals); [3] מסחר וירטואלי; [4] בטיחות ושקיפות במזון; [5] תזונה מותאמת אישית; [6] דיגיטציה של מסעדות; [7] ניהול מזון דיגיטלי; [8] הפחתה של בזבז מזון; [9] רובוטיקה; [10] הדפסת מזון.⁵

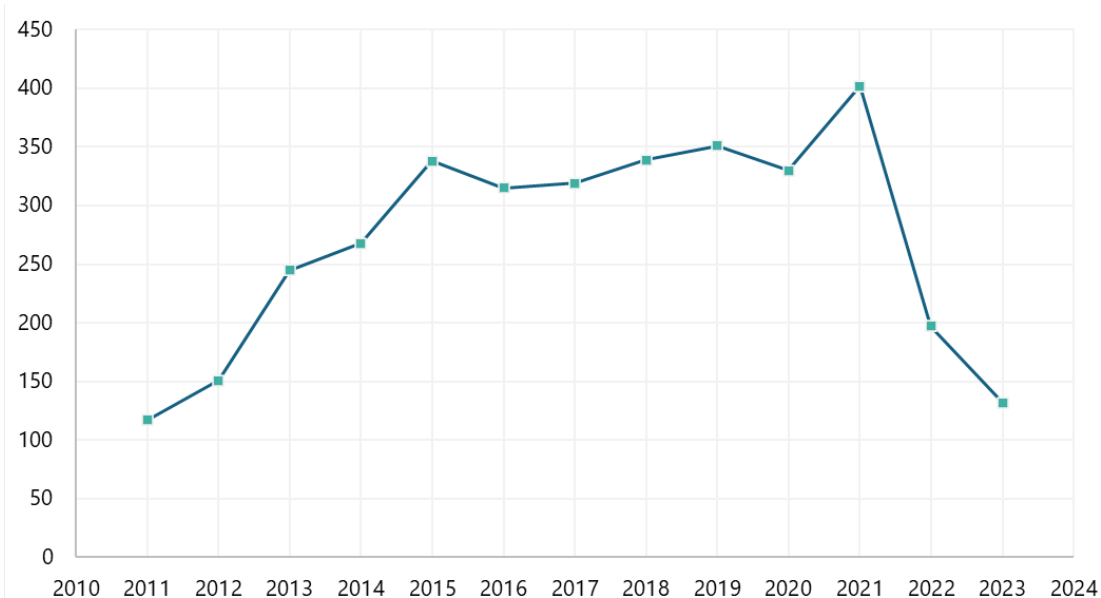
חדשנות מבוססת טכנולוגיה מונעת בדרך כלל באמצעות הסינרגיה בין אקדמיה, תעשייה וכוחות השוק. פטנטים מהווים אינדיקטור להערכת ההתקדמות והדינמיקה של החדשנות בשלבי ההמצאה. נתוני הפטנטים עשויים לסייע בהחלטות לגבי קביעת מדיניות ורגולציה בנושאים כמו זכויות קניין רוחני (IPR) וחלוקת מענקים ממשלתיים המתייחסים לפיתוח הטכנולוגיות החדשות.

³⁰ הצלת תעשיית ההייטק ופיתוח מנועי צמיחה בצפון. ועדת המדע והטכנולוגיה – הכנסת. מאי 2024 [מקור]

³¹ בתרשים מופיעים ישובים שיש בהם מקבצים של 2 חברות ומעלה

בניתוח נתוני הפטנטים הישראליים בתחומי הפודטק נמצאו 2,991 בקשות פטנטים³² שהוגשו בין השנים 2014-2023 ומהווים 1.3% מבקשות הפטנטים בעולם בתקופה זו. בתרשים הבא ניתן לראות את התפלגות בקשות הפטנטים הישראליים לפי שנת הגשה. מספר הפטנטים הישראליים השנתי (בתחומי הפודטק) הגיע לשיא בשנת 2021 עם נתון שגדול פי 3.4 ממספר הפטנטים שהוגשו עשור לפני כן ב-2011; מספר הפטנטים בעולם צמח פי 1.4 באותה התקופה. ניתן להבחין בירידה חדה בנתוני הפטנטים בתחום הפודטק לאחר שנת 2021: מספר הפטנטים הישראליים שהוגשו ב-2023 הינו כשליש מהנתון ב-2021; מספר הפטנטים בעולם ירד ב-61% התקופה המקבילה. ניתן לייחס את הירידה להאטה הכלכלית שהחלה בתקופת הקוביד, כפי שאפשר לראות גם בתרשים שמתאר את השינוי במספר החברות הישראליות שהוקמו (איור 7).

איור 9: מספר בקשות הפטנטים הישראליים בתחומי הפודטק



דיון וסיכום

פיתוח טכנולוגיות מזון מתקדמות ידרוש שיתוף פעולה רב בין ממשלות, אקדמיה, חברות ובעלי עניין אחרים במטרה להתגבר על אי שוויון חברתי ולהילחם ברעב, תוך שמירה על קיימות. תחום הפודטק צפוי למלא תפקיד משמעותי בשינוי הדינמיקה הכלכלית של המגזר האגרו-תעשייתי. מדובר במערכת שנמצאת בתנופה וצמיחה מתמדת, ולפי התחזיות צפויה להניב סטארטאפים רבים נוספים⁵. רשות החדשנות פירסמה באפריל 2024 תכנית להשקת שת"פ בינלאומי בתחום האגריפוד-

³² ניתוח המידע בוצע לפי נתוני USPTO (ספירה לפי משפחות פטנטים), על בסיס רשימת IPC שמפורטת בדוח של OECD ועדכונים שהותאמו לזירה הישראלית:

OECD (2023), Policies for the Future of Farming and Food in the Netherlands, OECD Agriculture and Food Policy Reviews, OECD Publishing, Paris. [\[source\]](#)

טק – AGRInnova³³; התכנית תפעל בשיתוף עם מדינות אמריקה הלטינית והקריביים במטרה להתמודד עם אתגרים הקשורים לסיכוני אקלים.

מספר הפרסומים המדעיים בעולם צמח פי 3 בשנים 2010-2023. מספר הפרסומים שנכתבו בהשתתפות מחברים ישראלים גדל פי 2.4 באותה תקופה. שיעור הפרסומים הישראליים מכלל פרסומי העולם בנושא זה עמד על ממוצע של 0.3% בתקופה זו. ממוצע הציטוטים לפרסום בקבוצת מאמרי הפודטק הישראליים הינו 12.6 (2019-2023).

המוסדות הישראליים המובילים במספר פרסומי הפודטק בשנים 2019-2023: מינהל המחקר החקלאי (Agricultural Research Organization) עם 28% מהמאמרים, האוניברסיטה העברית – 23%, אוניברסיטת ת"א – 18%, הטכניון – 17%, אוניברסיטת בן-גוריון – 10%.

54% מפרסומי הפודטק הישראליים ב-2019-2023 נכתבו בשת"פ בינלאומי. המדינות המובילות בשת"פ עם ישראל בנושאי הפודטק הן: סין – עם 18% מהפרסומים, ארה"ב – 14%, איטליה – 8%, גרמניה – 6%, ובריטניה – 5%.

בניתוח חברות הפודטק הישראליות לפי שנת הקמה נמצא שקצב הצמיחה השנתי הממוצע בין השנים 2010-2020 הינו 24%, עם שיא של 31 חברות פודטק חדשות בשנת 2018. הצניחה החדה ב-2023 עלולה להיות תוצאה של השינויים הפוליטיים והבטחוניים שהתרחשו בישראל בשנה זו. במיפוי החברות לפי מיקום גיאוגרפי נמצא ש-20% מהחברות ממוקמות בתל-אביב; במקום השני – רחובות עם 7% מהחברות; המקבץ השלישי בגודלו נמצא בקרית שמונה וכולל 5% מהחברות.

לפני נתוני IVC שפורסמו בנובמבר 2024, בשלושת הרבעונים הראשונים של 2024 הושקעו בפודטק הישראלי 125 מיליון דולר לעומת 2.7 מיליארד דולר בסייבר. בתחומי הפודטק והאגריטק נרשמה האטה כתוצאה ממשבר כללי בענף ההשקעות הגלובלי, ובהשפעת המלחמה – שהעמיקה את הקשיים בתחום. גורמים בענף מדווחים ש"קרנות וגופי השקעה רבים מאירופה, שהם מקור מימון מרכזי לתעשיות הפודטק והאגריטק, הקפילו לחלוטין את ההשקעות בחברות ישראליות לאורך המלחמה". בניגוד לחברות AI וסייבר שמתאפיינות בתשתיות דיגיטליות, חברות פודטק מתאפיינות בתשתיות ייצור פיזיות, מעבדות ניסוי ועבודת שדה; מאפיין זה הופך את השפעת המלחמה לגורם סיכון משמעותי יותר בעיני משקיעים, שכן פגיעה בתשתיות הפיזיות עלולה לשבש את שרשרת הערך המורכבת של חברות אלה באופן מיידי וקשה יותר לתיקון. המלחמה פגעה קשות במרכזי החדשנות ובחממות הסטארט-אפים באזורי הלחימה, באזורי הנגב המערבי, הגליל וקרית שמונה. אזורים אלה, המתאפיינים בריכוז גבוה של חברות פודטק ואגריטק, נאלצו להתמודד עם פגיעה משמעותית במרקם העסקי והטכנולוגי, תוך פיזור החברות והצוותים ברחבי הארץ. אבי חסון, מנכ"ל סטארט-אפ ניישן סנטרל, קורא לנקיטת צעדי מדיניות בנושא: "הממשלה צריכה לתת איתותים חיוביים לשוק, אחריות פיסקלית וסדרי עדיפויות, לעודד משקיעים וחברות רב-לאומיות ולתת תקציבים למחקר אקדמי".³⁴

³³ AGRInnova [website]

³⁴ ההייטק צלח בשלום את המערכה בצפון, אבל הפודטק והאגריטק ספגו מהלומה. TheMarker. נובמבר 2024 [מקור]

אנרגיות מתחדשות - מיפוי תפוקות מחקר³⁵

קצב גידול האוכלוסיה וההתפתחות החברתית-כלכלית מגדילים את הביקוש לאנרגיה ולשירותים הקשורים לאנרגיה. בשנת 2014, סך הצריכה העולמית של אנרגיה ראשונית (primary energy) הסתכמה בכ-160,310 מיליון MWh; נתון זה צפוי לעלות ל-240,318 מיליון MWh בשנת 2040. הרזרבות העולמיות של דלקים פוסיליים מתרוקנות במהירות: בהתבסס על תחזיות שימוש גלובליות ממוצעות, ההנחה היא שנפט וגז עשויים להחזיק מעמד עוד 50 שנה, ופחם ואורניום עוד כמאה שנים. לשימוש ארוך טווח ואינטנסיבי במקורות אנרגיה שאינם מתחדשים קיימות גם השפעות מזיקות על הסביבה, כמו זיהום אוויר, שינויי אקלים ואובדן בלתי הפיך של משאבי טבע.³⁶

לפי נתוני Our World in Data³⁷, צריכת האנרגיה העולמית עדיין מבוססת ברובה על דלקים מאובנים כגון נפט (33.1%), פחם (27%) וגז (24.3%). מקורות האנרגיות המתחדשות הדומיננטיים כוללים אנרגיית מים - hydropower (6.45%), רוח (92.2%) ושמם (1.1%). כח גרעיני, המספק 4.3% מהאנרגיה, אינו מסווג כמקור של אנרגיות מתחדשות היות ומקור זה עושה שימוש בדלק רדיואקטיבי (אך מוגדר כמקור דל פחמן).

הנושא של המרת אנרגיה זוכה לתשומת לב עולמית נרחבת בעקבות שינויי האקלים ומשברי האנרגיה. מדענים מפתחים מגוון של חידושים בתחומי האנרגיות המתחדשות במטרה להגיע ליעילות גבוהה עם פחות זיהום, תוך שילוב טכנולוגיות קיימות וחדשות. הטכנולוגיות העיקריות שעשויות להיות מעשיות ליישום במשק החשמל הישראלי הן טכנולוגיות הפועלות באמצעות שימוש במקורות מתחדשים: אנרגיית שמש, אנרגיית רוח ופסולת. באוקטובר 2020 התקבלה החלטת ממשלה (465) לעדכון יעדי ייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת כך שעד שנת 2030 - 30% מייצור החשמל יהיה מאנרגיה מתחדשת, שמבוססת בעיקר על שמש, ומקצתה רוח³⁸. משרד המדע הציב את נושא האנרגיות המתחדשות בקדמת סדרי העדיפויות בשנת העבודה 2023³⁹. בפרק זה נציג מיפוי של תפוקות המחקר של ישראל בתחומי האנרגיות המתחדשות והשוואה למגמות העולמיות⁴⁰.

³⁵ תודה לפרופ' אופירה אילון – ראשת תחום אנרגיה וסביבה במוסד נאמן, על מקורות המידע שהוסיפה להכנת הפרק

³⁶ Mentel, G., Lewandowska, A., Berniak-Woźny, J., & Tarczyński, W. (2023). Green and renewable energy innovations: a comprehensive bibliometric analysis. *Energies*, 16(3), 1428.

³⁷ Bouckaert, S., Pales, A. F., McGlade, C., Remme, U., Wanner, B., Varro, L., ... & Spencer, T. (2021). Net zero by 2050: A roadmap for the global energy sector.

³⁸ אנרגיות מתחדשות בישראל - רקע כללי. אגף החשב הכללי. נובמבר 2023. [\[מקור\]](#)

³⁹ עיקרי תכנית העבודה לשנת 2023. משרד החדשנות, המדע והטכנולוגיה. ינואר 2023. [\[מקור\]](#)

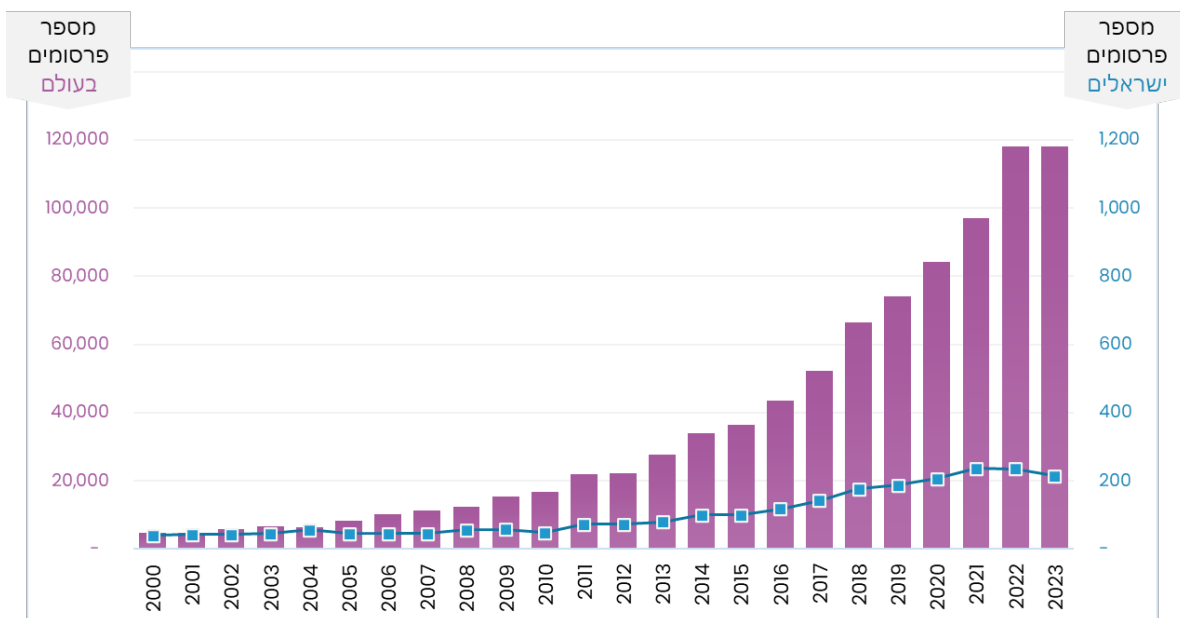
⁴⁰ ניתוח הנתונים הביבליומטריים בפרק זה התבצע על בסיס ספירת המאמרים בקטגוריית Renewable Energy, Sustainability and the Environment של מאגר סקופוס.

תפוקות מחקר בישראל ובעולם

סקטור האנרגיה הינו המקור לכ-75% מפליטות גזי החממה בעולם. הסכם פריז (2015) מדגיש את הצורך הדחוף במעבר מדלקים מאובנים לאנרגיה מתחדשת והגברת היעילות האנרגטית. חדשנות מהווה מרכיב מרכזי בהאצת הפיתוח של אנרגיות מתחדשות. החדשנות נדרשת לנושאים כמו הפחתת עלויות, שיפור היעילות ושילוב של טכנולוגיות מתחדשות במערכות אנרגיה. במקביל, נדרשת חדשנות גם כדי לגלות ולפתח טכנולוגיות אנרגיה מתחדשת מהדור הרביעי שיחוללו מהפכה בכל מערכת האנרגיה. חידושים נחוצים גם באקוסיסטם המקיף של מערכת האנרגיה שכולל תכנון שוק, מדיניות ורגולציות נלוות, תשתיות המשלבות מקורות אנרגיה מתחדשות עם מערכות אנרגיה ומודלים עסקיים חדשים.⁴¹

העניין הגובר בהמרת אנרגיה הוביל להופעתו של תחום מחקר שעוסק בחידושי אנרגיה ירוקה ומתחדשת. מדענים עובדים על חידושים רבים בתחום האנרגיה המתחדשת במטרה להגיע ליעילות גבוהה עם פחות זיהום ולשלב טכנולוגיות קיימות וחדשות. ניתן להבחין במגמת עליה במספר המדענים החוקרים את נושא החדשנות בתחום; עליה זו בולטת במיוחד החל מ-2020³⁶ ועשויה להיות תוצאה של שינויים בחקיקה של האיחוד האירופי⁴². מספר הפרסומים הגלובלי בתחומי האנרגיות המתחדשות מוצג באיור 10: מספר הפרסומים בעולם על פי 7 בין השנים 2010/2023. מספר הפרסומים המדעיים שנכתבו בהשתתפות מחברים ישראלים גדל פי 4.5 באותה תקופה. שיעור הפרסומים הישראליים מכלל פרסומי העולם בנושא זה ירד מ-0.9% בשנת 2000 ל-0.2% בשנת 2023.

איור 10: מספר פרסומים שנתי בנושאי אנרגיות מתחדשות - ישראל בהשוואה לעולם

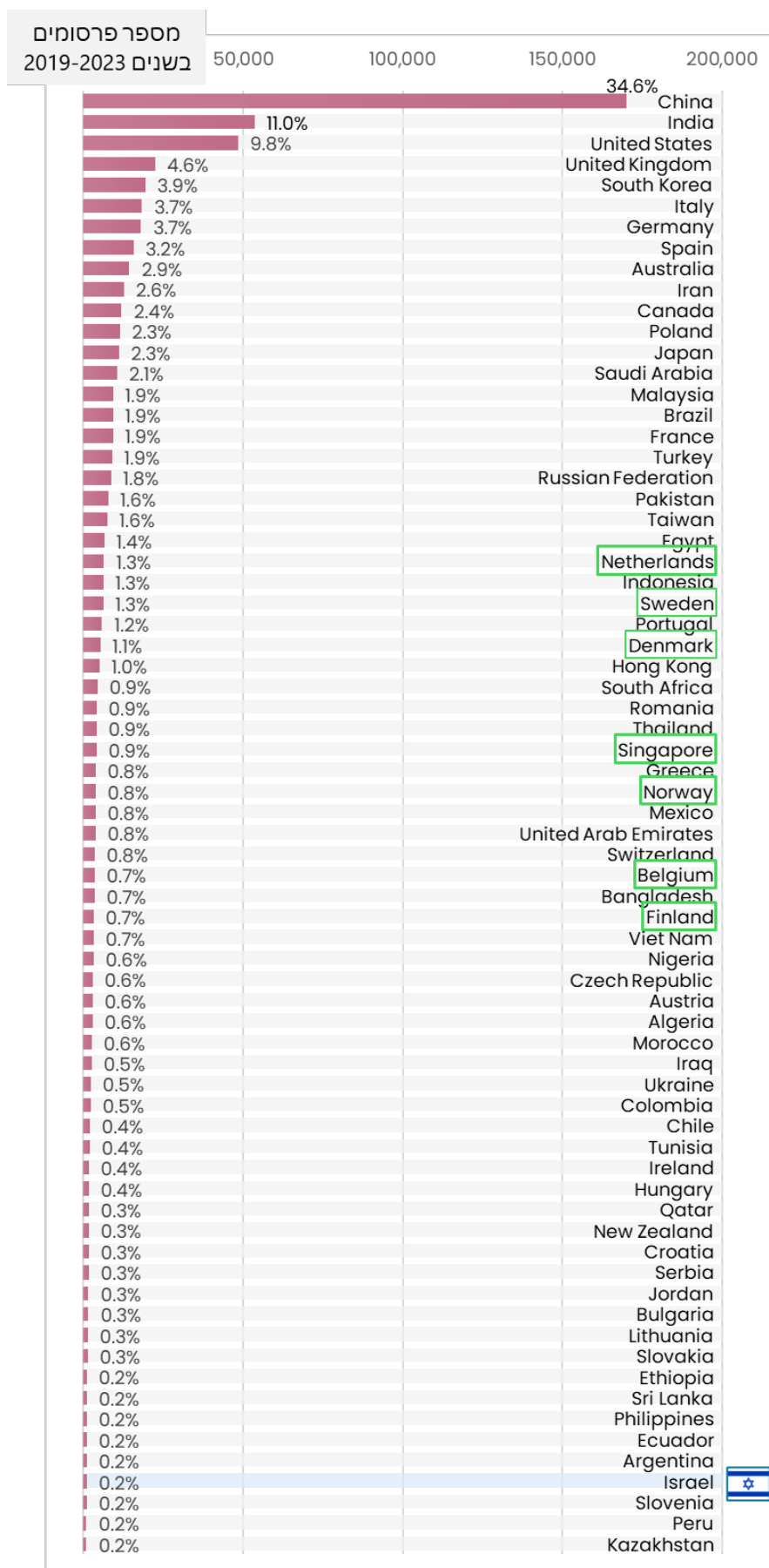


⁴¹ Mentel, G., Lewandowska, A., Berniak-Woźny, J., & Tarczyński, W. (2023). Green and renewable energy innovations: a comprehensive bibliometric analysis. *Energies*, 16(3), 1428.

מדינות מפותחות שתרמו לבעיית המחסור באנרגיה במהלך התפתחותן מובילות לרוב את תהליך המעבר לאנרגיות מתחדשות. מדינות ה-OECD המתועשות פיתחו אסטרטגיה משותפת להתמודדות עם הבעיה והאתגרים הסביבתיים הנלווים. האסטרטגיה כוללת תכנון מדיניות לתמרוץ השקעות ציבוריות ופרטיות בטכנולוגיות חסכון באנרגיה, השקעות בחינוך ומו"פ, וכן הגדרת תקנים ותקנות סביבתיות. פיתוח של מערכת חדשנות לאומית בכל מדינה באמצעות כוחות מוסדיים, כלכליים ורגולטוריים ממלאים תפקיד מרכזי בתהליך זה⁴³. איור מציג דירוג של 70 המדינות המובילות במספר הפרסומים העוסקים באנרגיות מתחדשות בין השנים 2019-2023. סין מובילה בדירוג עם שליש מפרסומי העולם בתקופה זו, הודו במקום השני עם 11%, וארה"ב במקום השלישי עם 9.8%. כ-53% מפרסומי העולם בתקופה זו נכתבו בהשתתפות חוקרים מסין, הודו, ו/או ארה"ב. ההקשר הגיאוגרפי המחקרי משמעותי מאוד בתחום זה מכיוון שחדשנות באנרגיה תלויה במידה רבה בסביבת המאקרו ובאקוסיסטם העסקי שמאפשר תמיכה פיננסית. שיתוף הפעולה המדעי בתחום מתבצע בעיקר בין המדינות המפותחות⁴¹. ישראל מדורגת במקום ה-67 עם שיעור של 0.2% מפרסומי העולם בתקופה שנבדקה. מדינות היחוס שדומות לישראל מבחינת גודל האוכלוסיה ומספר הפרסומים השנתי הכללי מסומנות במסגרת ירוקה.

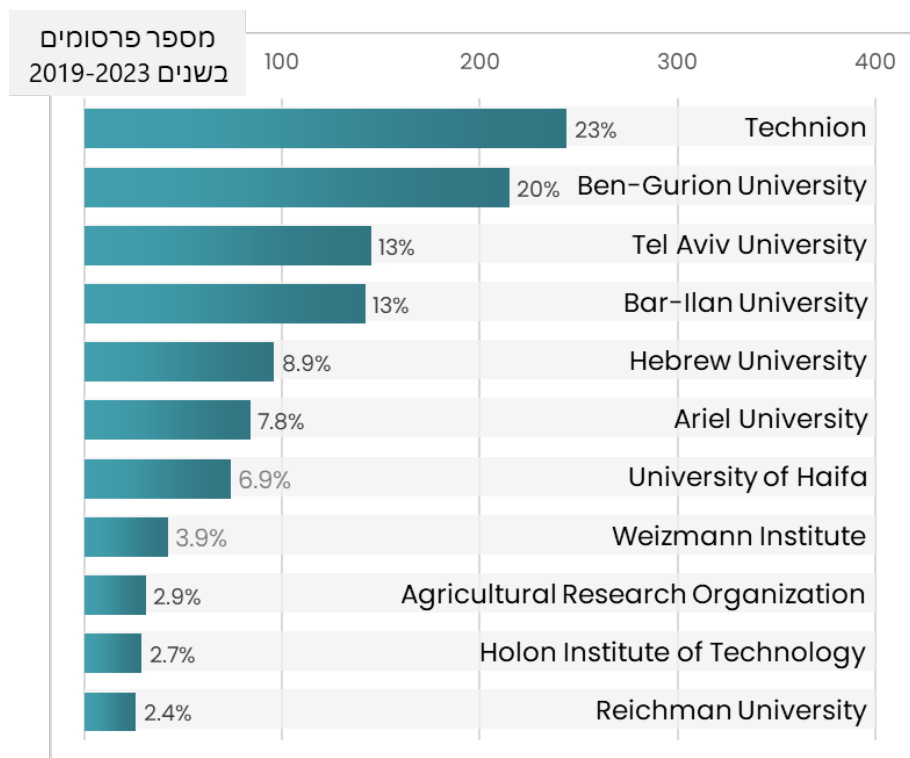
⁴³ Maasoumi, E., Heshmati, A., & Lee, I. (2021). Green innovations and patenting renewable energy technologies. *Empirical Economics*, 60(1), 513-538.

איור 11: דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים בנושאי אנרגיות מתחדשות בין השנים 2019-2023



86% מהמאמרים הישראלים שהתפרסמו בשנים 2019-2023 ועוסקים באנרגיות מתחדשות נכתבו בהשתתפות חוקרים מהאוניברסיטאות הישראליות שמופיעות באיור 12: חוקרי הטכניון השתתפו בכתיבת 23% מהמאמרים, אוניברסיטת בן גוריון – 20%, אוניברסיטת ת"א ובר-אילן – 13% (לכל אוניברסיטה).⁴⁴

איור 12: פרסומי המוסדות הישראלים בנושאי אנרגיות מתחדשות בשנים 2019-2023



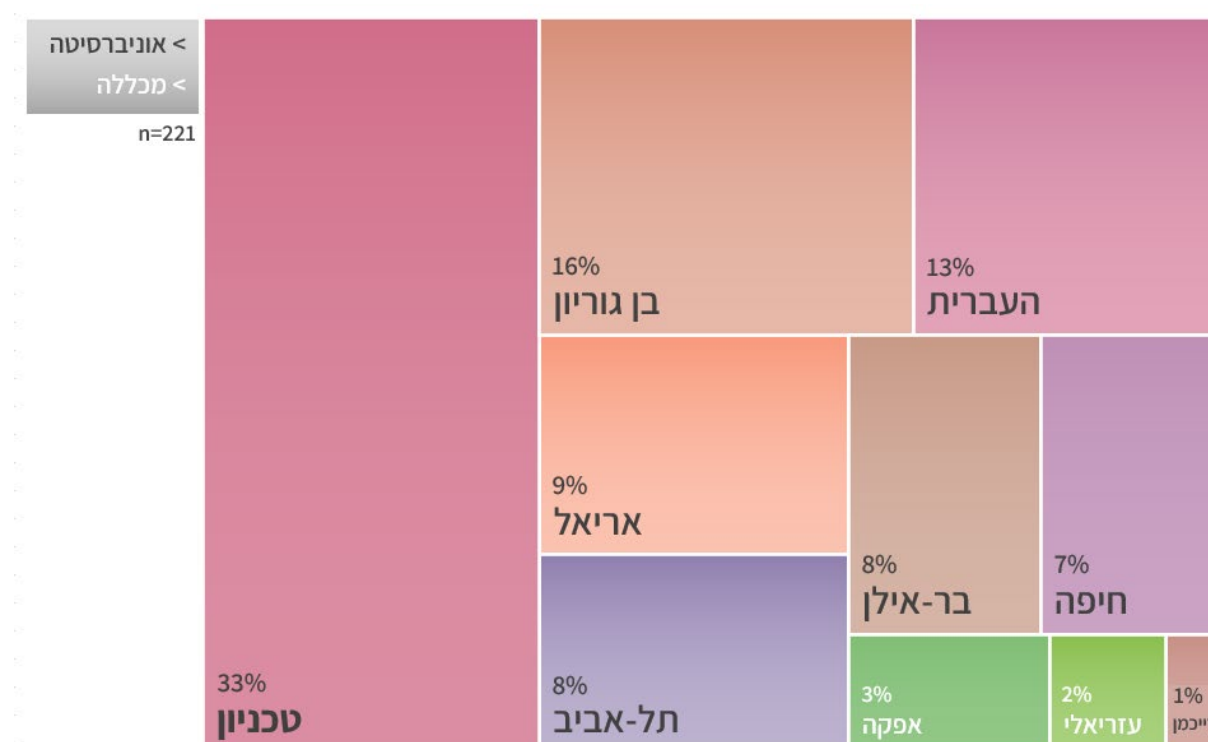
דוח⁴⁵ שפורסם ע"י EnergyCom באפריל 2024 מציג מיפוי של 272 חוקרים שעוסקים בנושאי אנרגיה באקדמיה הישראלית. התרשים הבא מתאר את התפלגות החוקרים לפי אוניברסיטאות ומכללות.⁴⁶

⁴⁴ מאמר שנכתב ע"י מחברים מאוניברסיטאות שונות נספר באופן שווה עבור כל אחד מהמוסדות

⁴⁵ The Israeli Energy Mapping Report. EnergyCom. April 2024. [\[source\]](#)

⁴⁶ בתרשים זה ספירת החוקרים של אוניברסיטת בר-אילן כוללת קלאסטר אנרגיה בלבד.

המיפוי כולל 2 מרכזי מחקר נוספים במכללת תל-חי ומרכז מיגל.

איור 13: התפלגות חוקרי האנרגיה הישראלים לפי אוניברסיטאות ומכללות^{45,46}

הקרן הלאומית למדע (ISF) השתתפה במימון של 11% מהמאמרים הישראלים בנושאי האנרגיות המתחדשות (2019-2023); 5% מהמאמרים נכתבו בסיוע מימון של משרד המדע, כ-4% - בסיוע המועצה להשכלה גבוהה; מעניין לציין ש-7% מהמאמרים שנכתבו בהשתתפות חוקרים ישראלים פורסמו בסיוע מימון של הקרן הלאומית למדעי הטבע של סין.⁴⁷

91% מהפרסומים המדעיים הישראלים התפרסמו בפורמט של מאמר, 6% התפרסמו בכנסים (conference proceeding). 48% מהמאמרים התפרסמו במקורות פתוחים (open access).

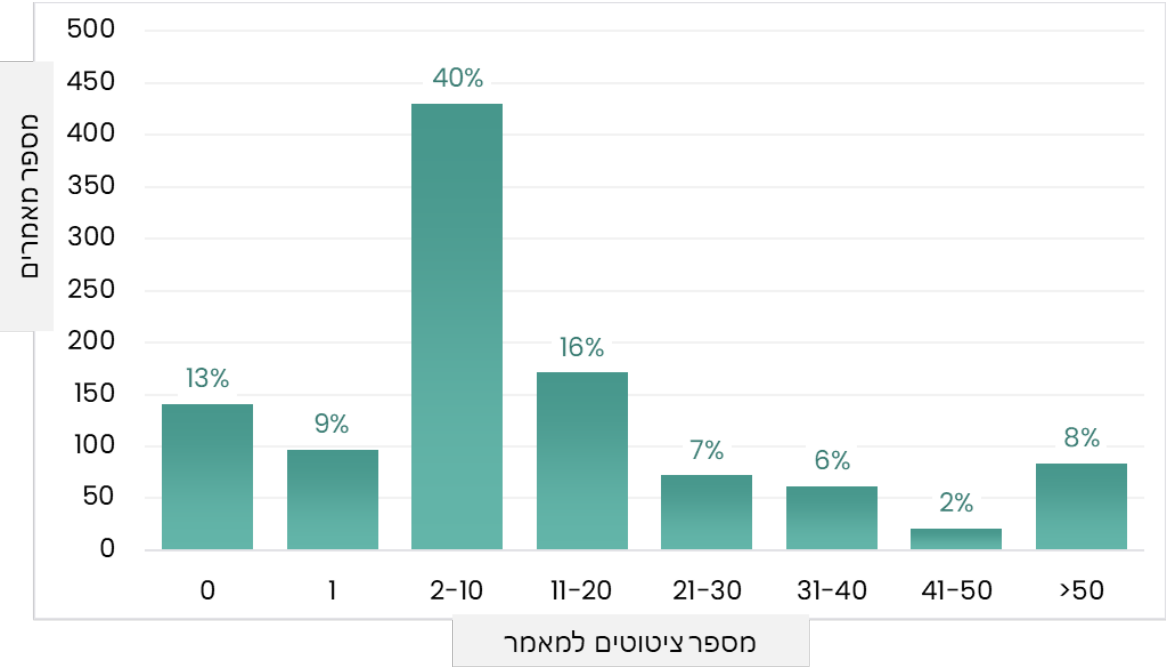
נתוני ציטוטים והשפעה מדעית

התפלגות הציטוטים⁴⁸ למאמרים ישראלים שפורסמו בשנים 2019-2023 בנושאי אנרגיות מתחדשות מתוארת באיור 14. אפשר לראות ש-87% מהפרסומים בתקופה זו צוטטו לפחות פעם אחת; 40% מהמאמרים קיבלו 2-10 ציטוטים, 8% מהמאמרים צוטטו למעלה מ-50 פעמים.

⁴⁷ National Natural Science Foundation of China

⁴⁸ כולל ציטוטים עצמיים

איור 14: התפלגות הציטוטים לפרסומים ישראלים בנושאי אנרגיות מתחדשות בשנים 2019-2023



ממוצע הציטוטים לפרסום של מאמרים ישראלים שעוסקים באנרגיות מתחדשות הינו 20.8 (2019-2023). הטבלה הבאה מציגה רשימה של 5 המאמרים המצוטטים⁴⁹ ביותר בתקופה שנבדקה; הטבלה כוללת פרטים על המקורות בהם פורסמו והמחברים הישראלים שהשתתפו בכתיבת המאמרים.

Title	Source	Israeli Author/s	Citations
Current status and future directions of multivalent metal-ion batteries [* Review]	Nature Energy 2020	Aurbach, Doron / Bar-Ilan University	804 FWCI: 11.74
Durability challenges of anion exchange membrane fuel cells	Energy and Environmental Science 2020	Page, Miles / PO-CellTech	393 FWCI: 20.23
Structural and Electrochemical Aspects of LiNi 0.8 Co 0.1 Mn 0.1 O 2 Cathode Materials Doped by Various Cations	ACS Energy Letters 2019	Aurbach, Doron / Bar-Ilan University	358 FWCI: 17.85

⁴⁹ הרשימה כוללת מאמרים שנכתבו ע"י 10 מחברים ומטה. ניתוח נתוני הציטוטים בוצע במאי 2024.

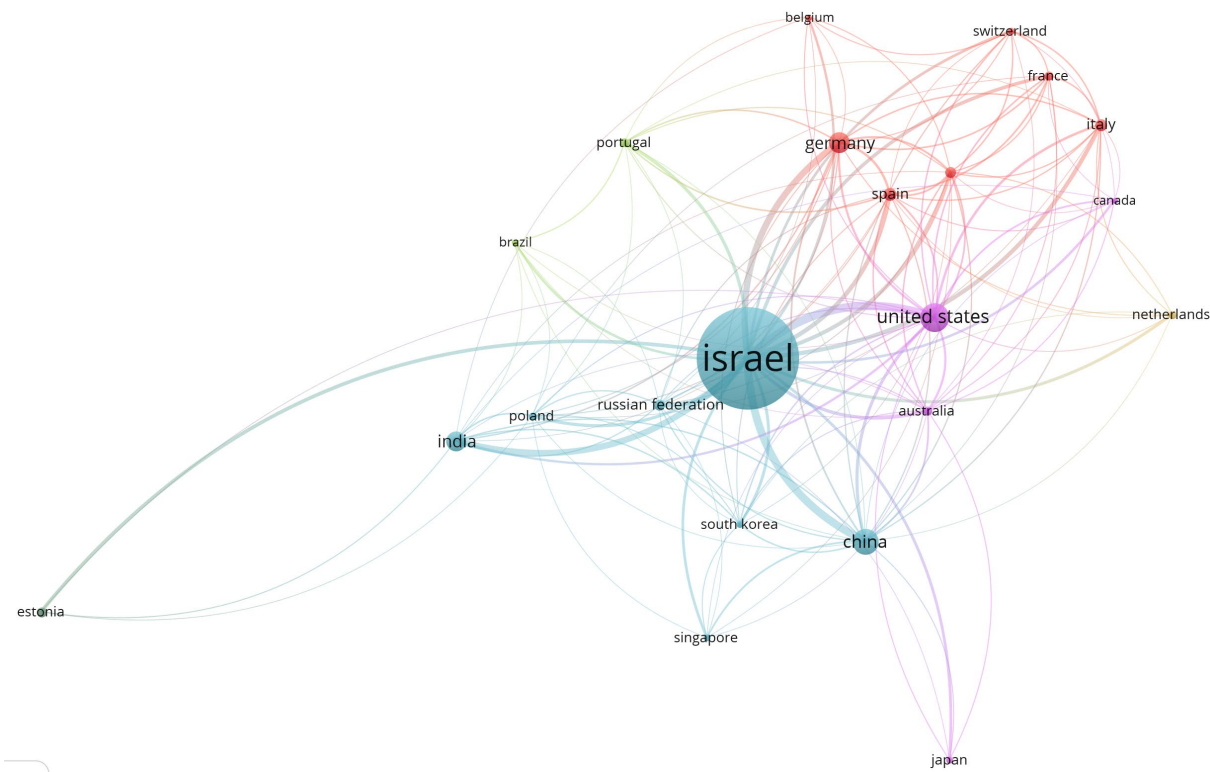
FWCI: Field-Weighted Citation Impact - reflects the ratio between the document's citations to the average number of citations received by all similar documents

Title	Source	Israeli Author/s	Citations
Recent advances in ion selectivity with capacitive deionization [* Review]	Energy and Environmental Science 2021	Suss, Matthew E. / Technion	244 FWCI: 5.38
Carbon electrodes for capacitive technologies [* Review]	Energy Storage Materials 2019	Suss, Matthew E. / Technion	220 FWCI: 2.69

ש"פ בינלאומי

55% מהפרסומים הישראליים בתחומי האנרגיות המתחדשות ב-2019-2023 נכתבו בש"פ בינלאומי. המדינות המובילות בש"פ עם ישראל בנושאי האנרגיות המתחדשות בתקופה זו הן: ארה"ב - עם 13% מהפרסומים, סין - 11%, גרמניה - 8%, והודו - 7%. איור 15 מתאר באופן סכמטי את קשרי המחקר של ישראל בתחומי האנרגיות המתחדשות לפי מספר המאמרים שנכתבו בשיתוף עם חוקרים מהמדינות המובילות בש"פ עם ישראל בשנים 2019-2023.

איור 15: הש"פ הבינלאומי של ישראל בתחומי האנרגיות המתחדשות [2019-2023]



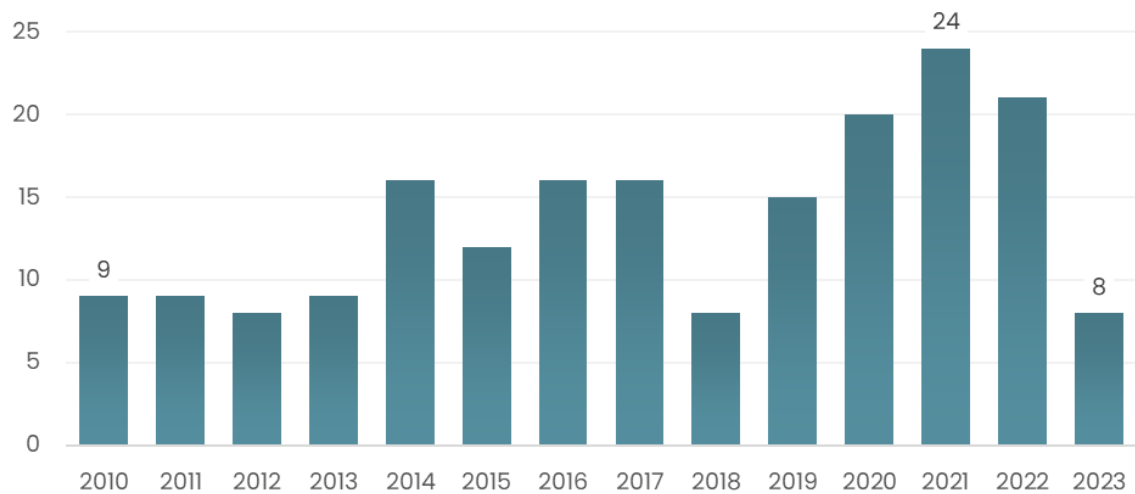
קשרי אקדמיה-תעשייה ומיפוי פטנטים בתחומי האנרגיות המתחדשות

במרץ 2020 פורסם שמשרד האנרגיה, רשות החדשנות ומשרד האנרגיה של ארה"ב יעניקו כ-30 מיליוני דולרים לשלושה מאגדי אנרגיה משותפים לארה"ב וישראל. בתחום אגירת אנרגיה נבחר מאגד בהובלת אוניברסיטת בר-אילן ואוניברסיטת מרילנד; שותפים ישראלים: אוניברסיטת ת"א, חברת Materials Zone ו-Dbattery3; שותפים אמריקאים: Saft America, Forge Nano.⁵⁰ שת"פ רב-מגזרי במו"פ מהווה פלטפורמה ליצירת רשתות של זרימת ידע ולכן עשוי לתרום להשגת יתרון יחסי במערכת החדשנות של טכנולוגיות האנרגיה.

ניתוח נתוני Startup Nation Central מצביע על כך שמספר הסטארטאפים הישראליים שעוסקים בתחומי האנרגיות המתחדשות הינו 259; איור 16 מציג את התפלגות החברות הפעילות לפי שנת הקמה; קצב הצמיחה השנתי הממוצע בין השנים 2010-2020 הינו 16%, עם שיא של 24 חברות חדשות בשנת 2021 (4% מתוך 589 סטארטאפים ישראלים שהוקמו באותה שנה). הצניחה החדה ב-2023 נראית מדאיגה ועלולה להיות תוצאה של משבר ההשקעות הגלובלי והאירועים הפוליטיים והבטחוניים שהתרחשו בישראל בשנה זו.⁵¹

איור 16: סטארטאפים ישראלים בתחומי האנרגיות המתחדשות⁵² – התפלגות לפי שנת הקמה

מס' סטארטאפים חדשים
בתחומי האנרגיות המתחדשות



מיפוי החברות הישראליות לפי מיקום גיאוגרפי מוצג באיור 17: 16% מהחברות ממוקמות בתל-אביב; ירושלים וחיפה – 7% (בכל עיר); פתח תקוה – 5%.

⁵⁰ מרכז האנרגיה ישראל-ארה"ב בחר במאגדים הזוכים – כ-60 מיליון דולר יושקעו במחקר ופיתוח משותף ישראלי-אמריקאי בתחומי האנרגיה. משרד האנרגיה והתשתיות. מרץ 2020. [מקור]

⁵¹ לראשונה מזה עשור: מספר העובדים בהייטק הפסיק לגדול. גלובס. דצמבר 2024 [מקור]

⁵² לפי חיפוש שבוצע באתר finder.startupnationcentral.org במאי 2024

איור 17: סטארטאפים ישראלים בתחומי האנרגיות המתחדשות⁵² – התפלגות לפי מיקום גיאוגרפי⁵³



העימות הצבאי שפרץ בפברואר 2022 בין רוסיה לאוקראינה הוביל לסנקציות שאיימו על הבטחון האנרגטי של מדינות אירופה, ובכך האיצו עוד יותר את דחיפות המעבר לאנרגיה ירוקה וצמצום התלות של אירופה בדלקים מאובנים מתוצרת רוסיה. משבר האנרגיה שנוצר צפוי לקדם התפתחות מהירה בתחום ותחרות עולמית על פיתוח אנרגיות מתחדשות. מידע על פטנטים משמש כלי יעיל להערכת חדשנות, חיזוי מגמות ותרחישים טכנולוגיים.⁵⁴

בניתוח נתוני הפטנטים הישראליים בתחומי האנרגיות המתחדשות נמצאו 871 בקשות פטנטים⁵⁵ שהוגשו בעשור החולף ומהווים 0.7% מבקשות הפטנטים בעולם בתקופה זו (2014-2023). כ-15% מהפטנטים הוגשו ע"י חוקרי האוניברסיטאות הישראליות⁵⁶ (מהם – כ-29% ע"י חוקרי הטכניון). איור

⁵³ בתרשים מופיעים ישובים שיש בהם מקבצים של 2 חברות ומעלה

⁵⁴ Jiang, L., Zou, F., Qiao, Y., & Huang, Y. (2022). Patent analysis for generating the technology landscape and competition situation of renewable energy. *Journal of Cleaner Production*, 378, 134264.

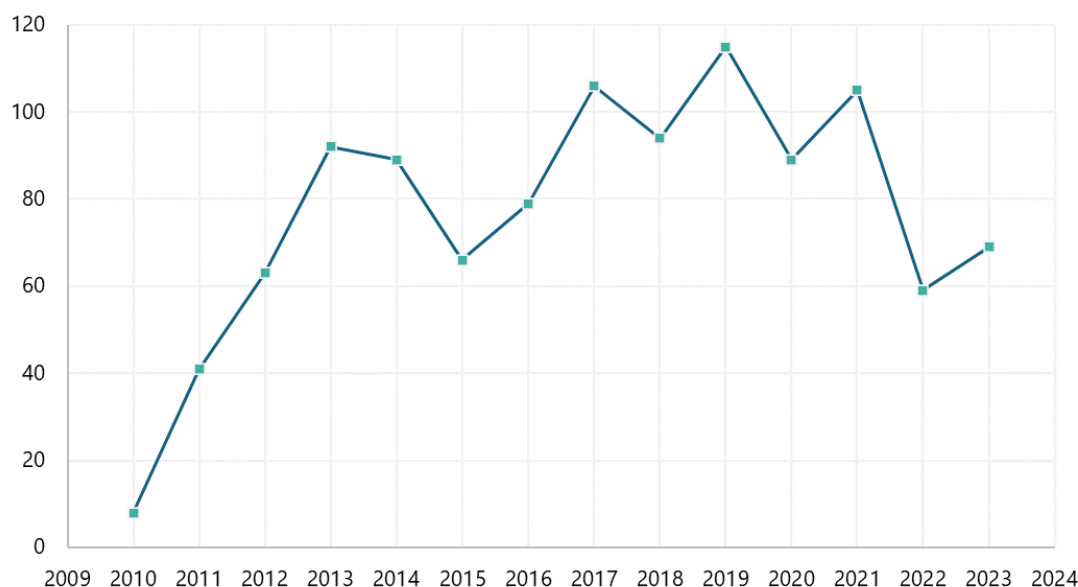
⁵⁵ ניתוח המידע בוצע לפי נתוני USPTO על בסיס ספירת משפחות פטנטים בסיווג Y02E CPC. התוצאות המתקבלות משמשות פרוקסי להערכת המגמות בתחום:

Y02E REDUCTION OF GREENHOUSE GAS [GHG] EMISSIONS, RELATED TO ENERGY GENERATION, TRANSMISSION OR DISTRIBUTION [\[source\]](#)

⁵⁶ בחלק מהמקרים בשיתוף עם חברות מהתעשייה

18 מציג את התפלגות בקשות הפטנטים הישראלים לפי שנת הגשה. מספר הפטנטים הישראלים השנתי (בתחומי האנרגיות המתחדשות) הגיע לשיא בשנת 2019 עם נתון שגדול פי 2.8 ממספר הפטנטים שהוגשו ב-2011; גם מספר הפטנטים בעולם הגיע לשיא ב-2019, ומאז ירד ב-50%.

איור 18: מספר בקשות הפטנטים הישראלים בתחומי האנרגיות המתחדשות



בניתוח פטנטים שפורסם⁵⁴ ב-2022 נמצא כי שמש ורוח הם מקורות האנרגיה הנפוצים ביותר, ומספר הפטנטים של אנרגיה סולארית גבוה בהרבה משאר טכנולוגיות האנרגיה. מספר הפטנטים בתחומי אנרגיית הרוח החל לצמוח ב-2012, ומאז המספרים השתנו בתנודתיות גבוהה. מספר בקשות הפטנטים של אנרגיה גרעינית נותר נמוך. סין, יפן, ארצות הברית, דרום קוריאה וגרמניה הן המדינות המובילות בפטנטים של אנרגיות מתחדשות (סין מובילה את הרשימה ומקדימה בפער ניכר את שאר המדינות); אחריהן - צרפת, רוסיה/ברה"מ, קובה וספרד. בכל המדינות הנ"ל, מלבד רוסיה, אנרגיה סולארית מהווה את הטכנולוגיה העיקרית בניתוח הפטנטים לפי תחומים.

עוד נמצא במחקר⁵⁴ שהמדינות שפיתחו קודם לכן טכנולוגיות של אנרגיות מתחדשות הן כיום בעיקר ספקיות טכנולוגיה. גרמניה וארה"ב הן דוגמאות טובות לכך. מדינות מתפתחות כמו סין ודרום קוריאה הן בעיקר צרכניות טכנולוגיה. ראוי לציין כי יפן, שהיתה חלוצה כמעט בכל מגזרי האנרגיה המתחדשת, היא יבואנית גדולה של כל הטכנולוגיות, למעט סולארית.

דיון וסיכום

טכנולוגיות האנרגיות המתחדשות עוברות מתקופת התפתחות לתקופת בשלות; מעבר לחשיבות הסביבתית, יש לקחת בחשבון גם את נושא הבטחון האנרגטי שיבטיח לכל מדינה אספקת אנרגיה סדירה במקרים של סנקציות או אמברגו נפט⁵⁴. משק האנרגיה הישראלי ייחודי במגוון תרחישי

החירום האפשריים (ואינם קיימים באירופה וארה"ב), בתנודתיות צריכה יומית גבוהה, וברצון להטמיע אנרגיות מתחדשות בצורה מוגברת.⁵⁷

מדיניות המכוונת לשימוש מוגבר באנרגיה מתחדשת מובילה להשקעה בחדשנות לקידום התחום. כתוצאה מקביעת תכניות מדיניות ממוקדות ופיתוח חדשנות טכנולוגית, שהפכה אותן לתחרותיות יותר, אנרגיה סולארית ואנרגיית רוח מהוות את המקורות העיקריים לייצור אנרגיה; עם זאת, משאבים משתנים אלו אינם יכולים לספק כח איתן, אמין וקבוע ללא סיוע של טכנולוגיות משלימות כגון אחסון, ייצור בעירה בקצב מהיר, הולכה והפצה יעילה. מחקרים מצביעים על כך שמדיניות המכוונת לטכנולוגיות ידידותיות לסביבה, עשויה להניע חדשנות גם בטכנולוגיות המשלימות. נדרשים תמריצים ציבוריים וממשלתיים כדי לפתור כשלי שוק המעכבים חדשנות טכנולוגית במגזרים אלה וניתוב של השקעות פרטיות למו"פ של אנרגיות מתחדשות.⁵⁸

סיכום של הנתונים שהוצגו בפרק זה מראה שמספר הפרסומים בעולם עלה פי 7 בין השנים 2010/2023. מספר הפרסומים המדעיים שנכתבו בהשתתפות מחברים ישראלים גדל פי 4.5 באותה תקופה. שיעור הפרסומים הישראלים מכלל פרסומי העולם בנושא זה ירד מ-0.9% בשנת 2000 ל-0.2% בשנת 2023. ממוצע הציטוטים לפרסום למאמרים ישראלים שעוסקים באנרגיות מתחדשות הינו 20.8 (2019-2023).

86% מהמאמרים הישראלים שהתפרסמו בשנים 2019-2023 ועוסקים באנרגיות מתחדשות נכתבו בהשתתפות חוקרים האוניברסיטאות הישראליות: חוקרי הטכניון השתתפו בכתיבת 23% מהמאמרים, אוניברסיטת בן גוריון – 20%, אוניברסיטת ת"א ובר-אילן – 13% (לכל אוניברסיטה).

55% מהפרסומים הישראלים בתחומי האנרגיות המתחדשות ב-2019-2023 נכתבו בשת"פ בינלאומי. המדינות המובילות בשת"פ עם ישראל בנושאי האנרגיות המתחדשות בתקופה זו הן: ארה"ב – עם 13% מהפרסומים, סין – 11%, גרמניה – 8%, והודו – 7%.

ניתוח נתוני חברות ישראליות שעוסקות באנרגיות מתחדשות מצביע על קצב צמיחה שנתי ממוצע של 16% בין השנים 2010-2020, עם שיא של 24 חברות חדשות בשנת 2021 (4% מתוך 589 סטארטאפים ישראלים שהוקמו באותה שנה). הצניחה החדה ב-2023 נראית מדאיגה ועלולה להיות תוצאה של משבר ההשקעות הגלובלי והאירועים הבטחוניים והפוליטיים שהתרחשו בישראל בשנה זו.⁵⁹

⁵⁷ סקירת משק הגז הטבעי - סיכום לשנת 2023. רשות הגז הטבעי. מאי 2024 [מקור]

⁵⁸ Stevens, K. A., Tang, T., & Hittinger, E. (2023). Innovation in complementary energy technologies from renewable energy policies. *Renewable Energy*, 209, 431-441.

⁵⁹ סקירה של טכנולוגיות חדשניות וסטארטאפים בינלאומיים שמבטיחים אנרגיה ירוקה בלי הגבלה ניתן למצוא במאמר שפורסם בניו יורק טיימס בדצמבר 2024:

The Quest to Build a Star on Earth | Start-ups say we're closer than ever to near-limitless, zero-carbon energy from fusion. When will we get there?. The New York Times. December 2024 [source]

Horizon 2020 - מיפוי פרסומים ישראלים

Horizon 2020 (להלן H2020) הינה תכנית המסגרת למו"פ של האיחוד האירופי שפעלה בין השנים 2014-2020 ונחשבת לתכנית המימון הגדולה בעולם למחקר וחדשנות⁶⁰ עם תקציב כולל של כ-80 מיליארד אירו⁶¹. היעדים הגלובליים של התכנית היו לקדם את המחקר המדעי והפצת החדשנות, להגביר את התחרותיות, לטפח צמיחה כלכלית, השקעות ותעסוקה. התכנית האיצה את הפיתוח של פתרונות לאתגרים גלובליים דחופים על ידי איגום מאמצים ומשאבים מרחבי אירופה.

במסגרת הפעילות של H2020 זכו 2,045 חוקרים, חברות וגופים ישראלים ב-1,666 מענקים בהיקף של כ-1.3 מיליארד יורו; 550 מיליון אירו הושקעו בחברות ישראליות וקרנות הון סיכון באמצעות כלים פיננסיים שהועמדו לטובת ישראל. 862 חברות זכו במענקים בסך של 430 מיליון אירו, ומהן 539 חברות קטנות ובינוניות זכו במענקים בהיקפים של 272 מיליון אירו, ו-961 חוקרים זכו במענקים בהיקף של 800 מיליון אירו. התחומים העיקריים בהם זכו החוקרים הישראליים הינם: מדעי הטבע - כ-780 מיליון אירו, בריאות ומדעי החיים - 360 מיליון אירו, חקלאות - 56 מיליון אירו; מדעי הרוח - 61 מיליון אירו, והנדסה - 397 מיליון אירו. ישראל מובילה בנתוני הזכיה של חוקרים במענקי ה-ERC (European Research Council) למחקר פורץ דרך עם 472 חוקרים שזכו בהיקף של 661 מיליון אירו.⁶²

ישראל משתתפת בתכניות האירופיות מאז 1996 כחברה נלווית שוות זכויות והיחידה מחוץ לאירופה. המועצה להשכלה גבוהה, רשות החדשנות ומשרד המדע חולקות יחד את הוצאות מימון התכנית. החברות בתכניות המו"פ של הקהילה האירופית הובילה להשקעות בתשתיות מחקר ואיפשרה מחקר ארוך טווח וחדשני בשיתוף פעולה עם חוקרים שנמצאים בחזית המחקר המדעי. להשתתפות ישראל בתכנית תרומה ניכרת למחקר המדעי טכנולוגי ולתעשייה עתירת הידע, למשק ולכלכלה, היא מקדמת את התעשייה הישראלית, ובמקביל מאפשרת הזדמנויות לחדירה של חברות ישראליות לשווקים אירופיים. מעבר לזאת, להצטרפות לתכנית קיימת חשיבות מדינית בהיבט הרחב של היחסים שבין ישראל לבין האיחוד האירופי.⁶³

תפוקות מחקר

החוזק המרכזי של תכנית H2020 היה שיתוף הפעולה הרב-תחומי ושיתוף הפעולה הכלל-אירופי בנושאי מו"פ. גישה זו הוכחה כיעילה באיחוד מומחיות, מיומנויות ומשאבים ממספר מדינות, תוך

⁶⁰ Piro, F. N., Seeber, M., & Wang, L. (2024). Regional and sectoral variations in the ability to attract funding from the European Union's Seventh Framework Program and Horizon 2020. *Scientometrics*, 129(3), 1493-1521.

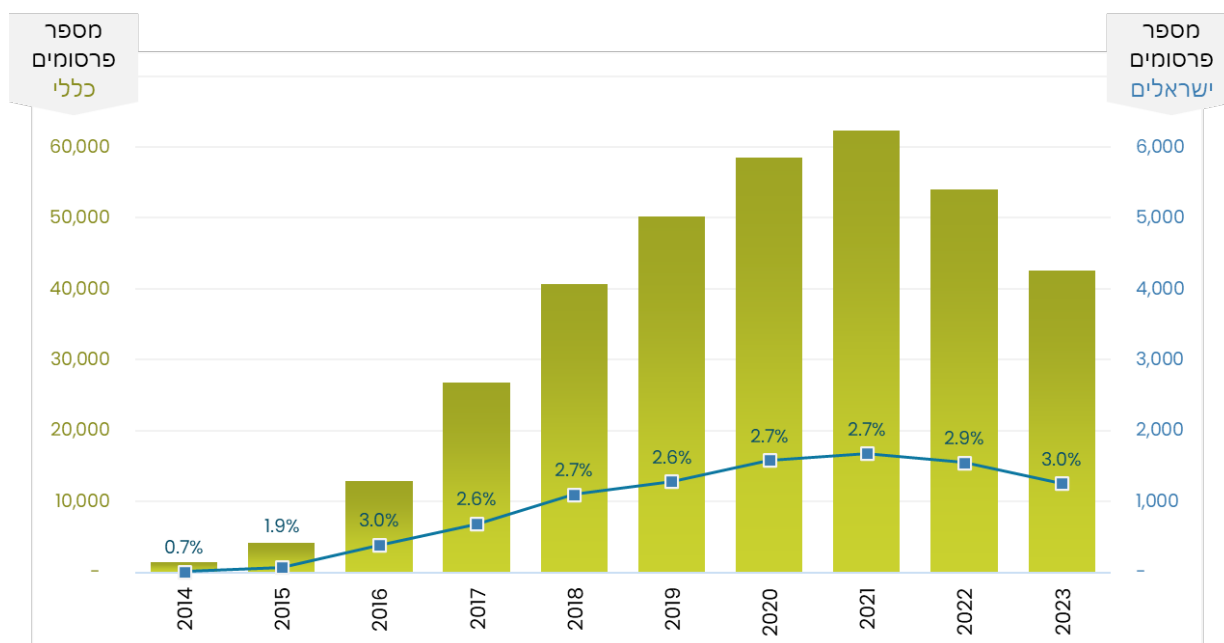
⁶¹ Mulier, K., & Samarin, I. (2021). Sector heterogeneity and dynamic effects of innovation subsidies: Evidence from Horizon 2020. *Research Policy*, 50(10), 104346.

⁶² שיתוף הפעולה המחקרי-מדעי עם האיחוד האירופי בתוכנית "הורייזן 2020". המועצה להשכלה גבוהה. מאי 2022 [מקור]

⁶³ נחתם רשמית הסכם הצטרפותה של ישראל לתוכנית המו"פ האירופית Horizon Europe. משרד החדשנות, המדע והטכנולוגיה. דצמבר 2021 [מקור]

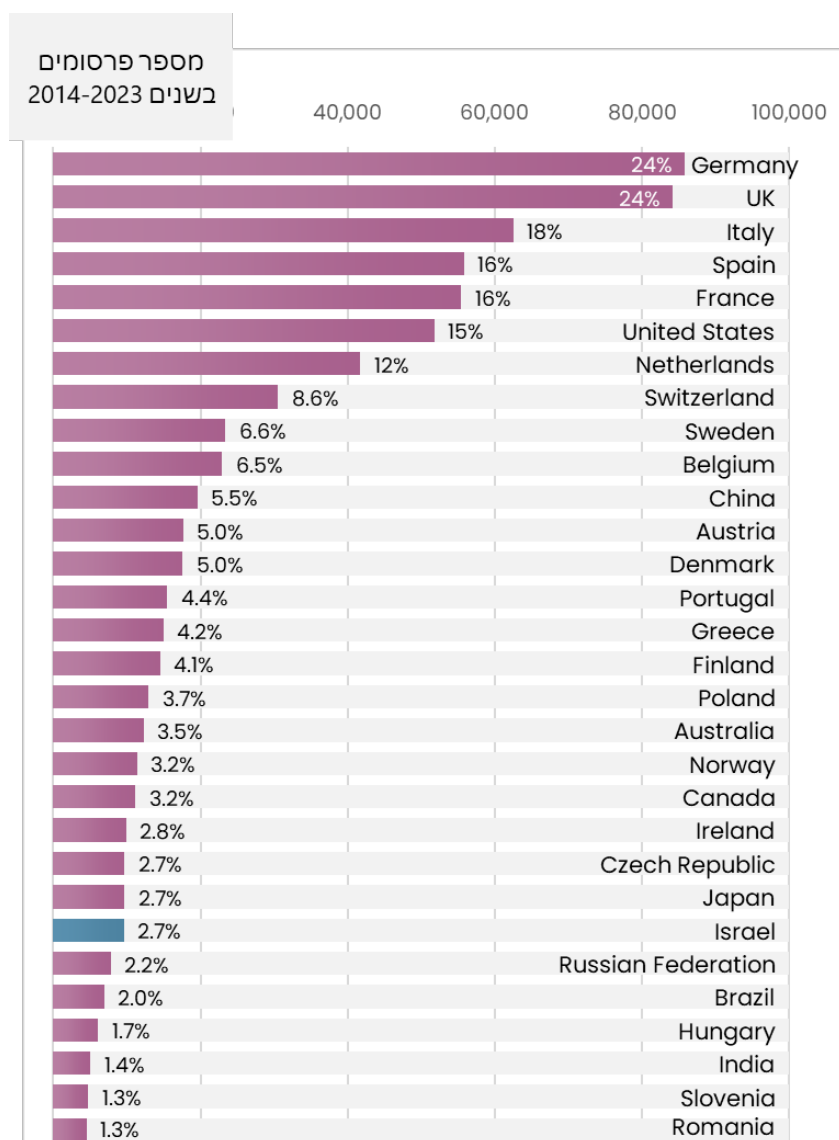
יצירת מסה קריטית להעלאת איכות תפוקות המחקר והחדשנות⁷². לפי נתוני סקופוס⁶⁴ ניתן לזהות 353,305 פרסומים שנכתבו בסיוע מימון של תכנית Horizon 2020 במהלך השנים 2014-2023, 9,621 (2.7%) מהם נכתבו בהשתתפות חוקרים מישראל (איור 19); מספר הפרסומים השנתי הגיע לשיא בשנת 2021 עם 62,301 מאמרים בעולם, ו-1,677 מאמרים שנכתבו בהשתתפות חוקרים מישראל. הקרן הלאומית למדע (ISF) השתתפה במימון של 34% מהפרסומים הישראליים.

איור 19: מספר הפרסומים שנכתבו בסיוע מימון Horizon 2020



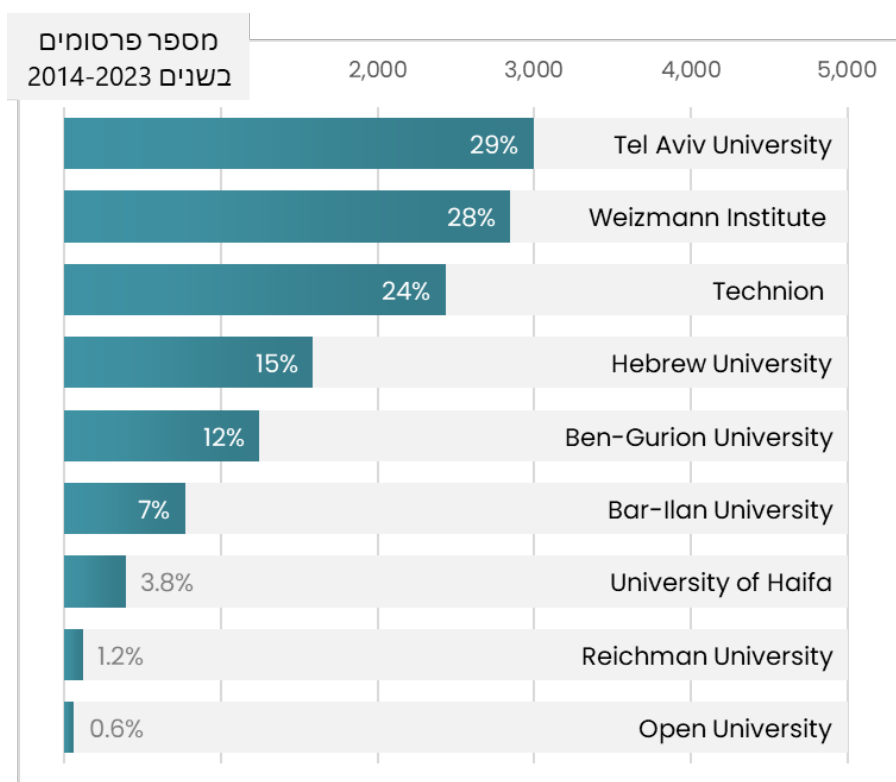
איור 20 מציג את דירוג המדינות לפי תרומתן למספר הפרסומים שנכתבו במסגרת H2020 בשנים 2014-2023. כרבע מהפרסומים נכתבו בהשתתפות חוקרים מגרמניה, שיעור דומה נמצא עבור בריטניה, איטליה – 18%, ספרד וצרפת – 16% לכל מדינה. ישראל מדורגת במקום ה-24 עם שיעור של 2.7% מהפרסומים.

איור 20: דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים שנכתבו במסגרת H2020

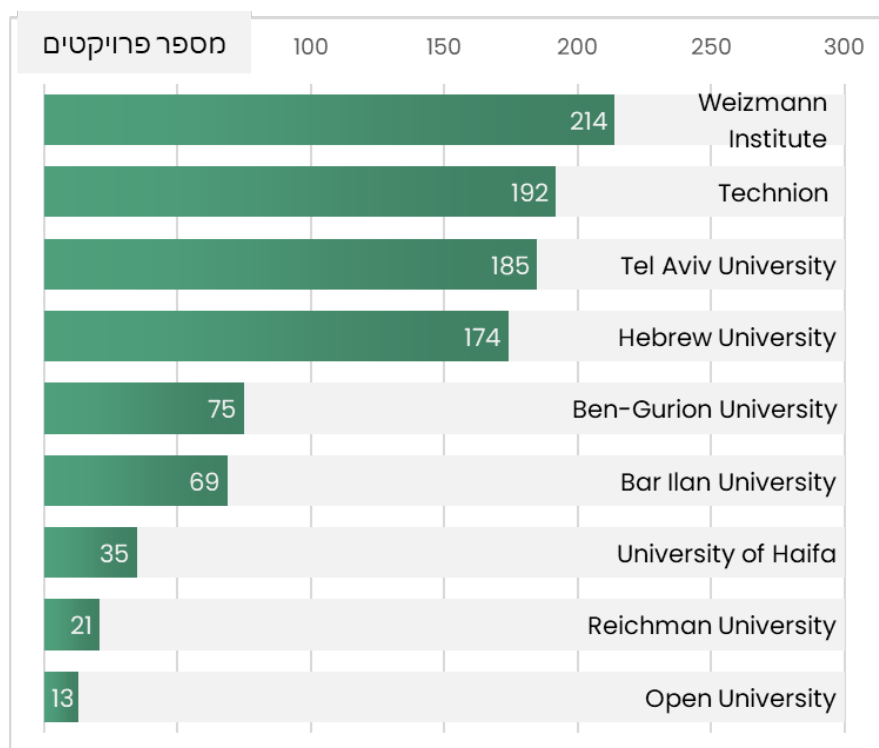


באיור 21 ניתן לראות את התפלגות המאמרים שנכתבו במסגרת H2020 לפי אוניברסיטאות. חוקרי אוניברסיטת ת"א השתתפו בכתיבת 29% מהפרסומים, מכון ויצמן – 28%, הטכניון – 24%, האוניברסיטה העברית – 15%, אוניברסיטת בן-גוריון – 12%, אוניברסיטת בר-אילן – 7%. איור 22 מציג את מספר הפרויקטים בהן השתתפו האוניברסיטאות הישראליות במסגרת תכנית H2020.

איור 21: התפלגות הפרסומים שנכתבו בסיוע מימון H2020 לפי אוניברסיטאות ישראליות



איור 22: השתתפות האוניברסיטאות הישראליות בפרויקטים של H2020⁶⁵



⁶⁵ המקור לנתונים: CORDIS - EU research results [\[קישור\]](#)

תכנית H2020 שמה דגש על מחקר מונחה יישומים עם רלוונטיות חברתית מיידית⁶⁶. מספר דוגמאות לפרויקטים בינלאומיים שבוצעו במסגרת H2020 בהשתתפות גופים ישראלים⁶⁵:

67 SNIFFPHONE [2015-2019] הפרויקט נוהל בהובלת פרופ' חוסאם חאיק מהטכניון ונועד לפתח שיטה לא פולשנית לקביעת דיאגנוזה רפואית באמצעות בדיקת נשימה של הפציינט. במסגרת הפרויקט פותחה אפליקציית טלפון נייד שנותנת למשתמש תוצאות מיידיות.

68 SOCRATES [2016-2020] צוות הפרויקט עסק בפיתוח דרכים לשיפור האופן שבו רובוטים מתקשרים עם משתמשים בהינתן מגוון משימות ונסיבות, תוך התמקדות ברובוטיקה לצרכי טיפול בקשישים.

69 G2P-SOL [2016-2021] תכנית זו עסקה באיסוף, שיפור והפצה של מידע גנטי ופנוטיפי על ארבעת הגידולים העיקריים של משפחת הצמחים הסולניים: תפוחי אדמה, עגבנייה, פלפל וחצילים. בתהליך ההתאמה לשימוש אנושי, צמחים סולניים מאבדים חלק ניכר מהעושר הגנטי שלהם והופכים רגישים יותר ללחצים סביבתיים ולנזקים מחיידקים, חרקים או שינויי אקלים. המידע שנאסף על ידי משתתפי הפרויקט, כולל שלושה ארגונים מ ישראל, עשוי לשמש לשחזור מגוון הגידולים הסולניים ולהגדיל את התפוקה, יכולת ההסתגלות והערך התזונתי שלהם.

תחומי מחקר

תכנית H2020 חיזקה את המחקר והחדשנות במטרה להתמודד עם אתגרים חברתיים מרכזיים כמו בריאות, בטחון תזונתי, אנרגיה, תחבורה, קיימות סביבתית, שינויי אקלים, בטחון ויצירת חברה שיוויונית. התפלגות המאמרים הישראלים לפי תחומי מחקר מתוארת באיור 23; האחוזים מציינים את שיעור המאמרים הישראלים מכלל פרסומי H2020 בכל תחום. 30% מהמאמרים הישראלים שנכתבו במסגרת H2020 עוסקים בנושאים של פיזיקה ואסטרונומיה; 24% במדעי המחשב; ביוכימיה, גנטיקה וביולוגיה מולקולרית – 16%; הנדסה ומתמטיקה – כ-15% לכל תחום.⁷⁰

⁶⁶ Application-oriented research with immediate societal relevance

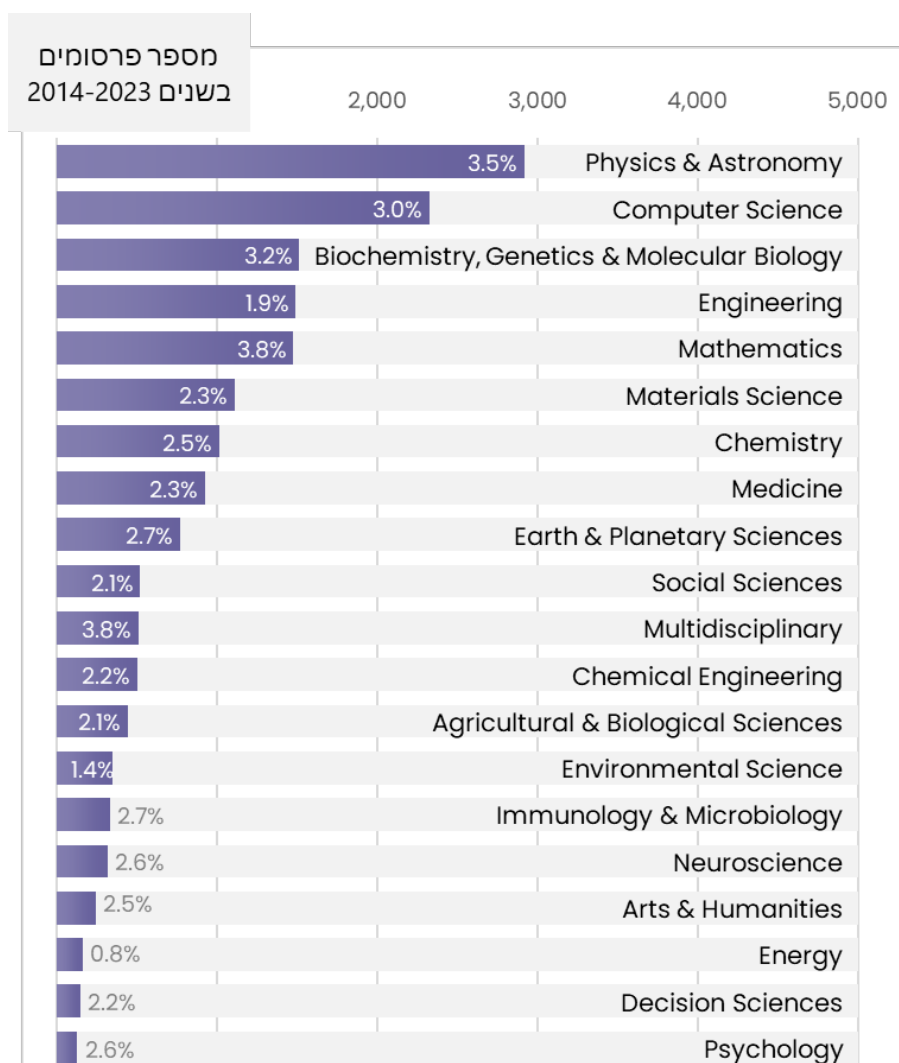
⁶⁷ SNIFFPHONE: Smart Phone for Disease Detection from Exhaled Breath [\[website\]](#)

⁶⁸ SOCRATES: SOcial Cognitive Robotics in The European Society [\[website\]](#)

⁶⁹ G2P-SOL: Linking genetic resources, genomes and phenotypes of Solanaceous crops [\[website\]](#)

⁷⁰ מאמרים שמשייכים למספר תחומי מחקר נספרים באופן שווה עבור כל תחום ולכן סכום האחוזים עשוי להיות גבוה מ-100%

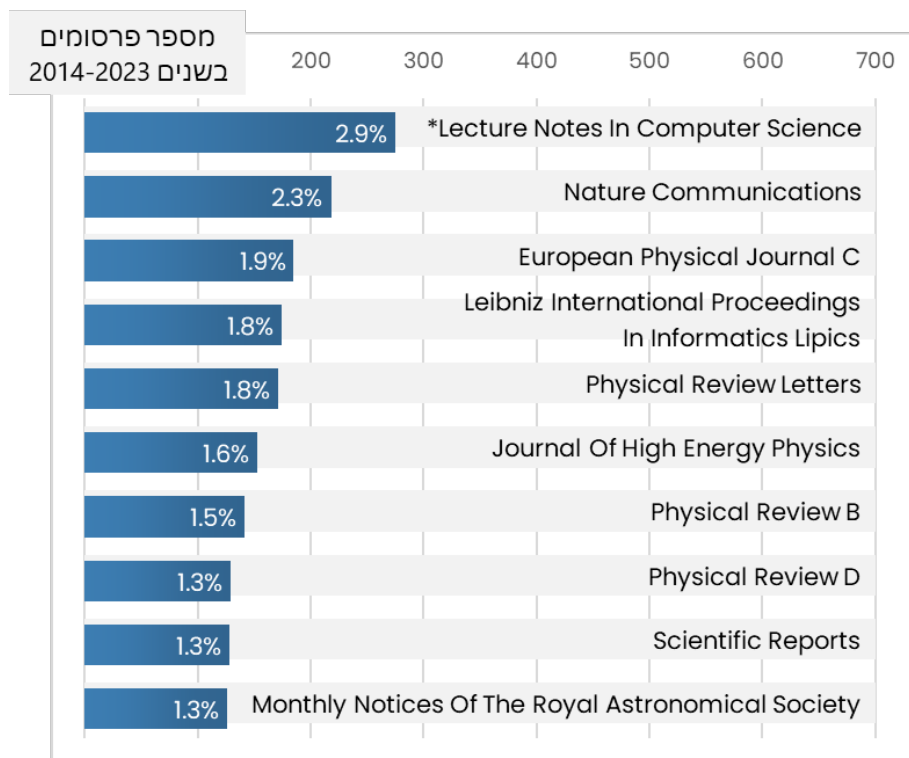
איור 23: התפלגות המאמרים הישראליים שנכתבו במסגרת H2020 לפי תחומי מחקר – 2014-2023



האחוזים מציינים את שיעור המאמרים הישראליים מכלל פרסומי H2020 בכל תחום

איור 24 מציג את התפלגות המאמרים הישראליים שנכתבו במסגרת H2020 לפי מקורות פרסום. 82% מהמאמרים פורסמו בכתבי-עת, 15% בכנסים, והשאר בספרים. 78% מהפרסומים הופיעו במקורות פתוחים (Open Access). 6% מהפרסומים נכתבו כמאמרי סקירה (Review).

איור 24: התפלגות המאמרים הישראלים שנכתבו במסגרת H2020 לפי מקורות פרסום – 2014-2023



* Lecture Notes in Computer Science Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence And Lecture Notes In Bioinformatics

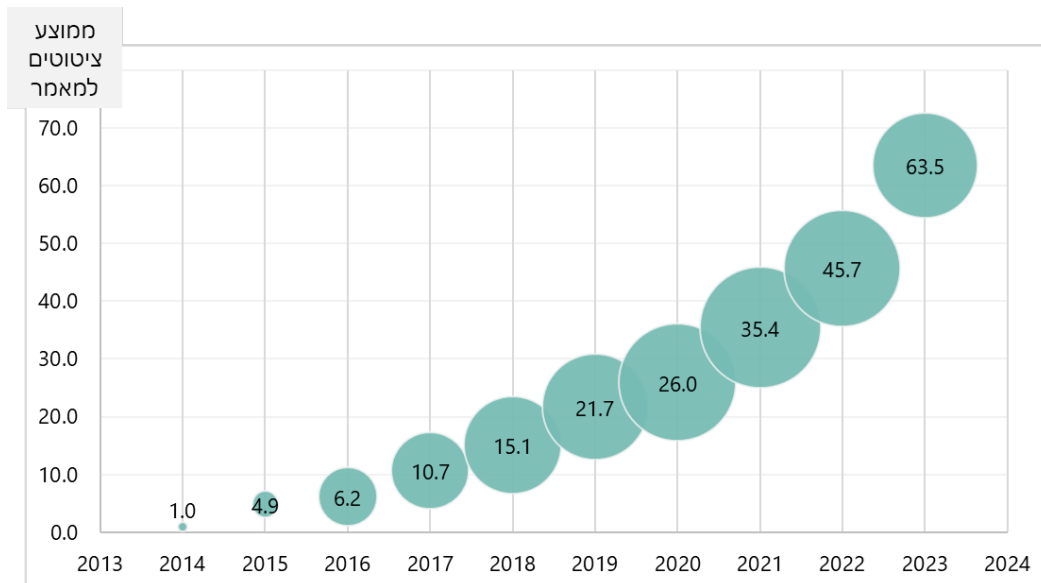
נתוני ציטוטים והשפעה מדעית

האסטרטגיה של תכנית H2020 נועדה לחזק את יסודות המדע והטכנולוגיה של אירופה באמצעות השקעה בידע, מיומנויות ותשתיות. לתכנית היה תפקיד מכריע בהנעת פריצות דרך מדעיות והתקדמות חלוצית בתחומים חדשים של מדע וטכנולוגיה למשל, שימוש בבינה מלאכותית בחיזוי מבנה חלבון, עם השלכות עמוקות על גילוי תרופות; פיתוח תיארוך DNA עתיק וגילוי עדויות להומו סאפיינס הראשון באירופה; פריצות דרך בהנדסה כימית, חומרים מרוכבים (עם יישומים בטכנולוגיות אנרגיה נקיה) ומכניקת קוונטים; לכידת התמונה הראשונה של חור שחור, הישג מונומנטלי באסטרופיזיקה הפותח אפיקים חדשים לחקר העצמים המסתוריים ביותר של היקום. בתכנית השתתפו 33 זוכי פרס נובל (לפני או אחרי הזכייה בפרס), כחלק מתפקיד הפרויקט בתמיכה במצוינות מדעית ברמה העולמית.

משתתפי התכנית דיווחו על פרסום של למעלה מ-276,000 מאמרים מדעיים (peer-reviewed publications); 18% מהם נכתבו במסגרת פרויקטים שקיבלו מענקים של מועצת המחקר האירופית ERC. מספר זה עדיין צפוי לעלות ככל שפרויקטים נוספים יגיעו לסיום. במחקר ההערכה⁷² שפורסם ב-2024 נמצא כי פרסומי H2020 מצוטטים פי שניים מהמוצע העולמי, ו-3.9% מהם ממוקמים ב-1% העליון של הפרסומים המצוטטים ביותר ברחבי העולם (תוצאות אלו גבוהות יותר מהביצועים של גופי מימון בינלאומיים גדולים אחרים, כולל הקרן הלאומית למדע בארה"ב).

באיור 25 ניתן לראות את השינוי במוצע הציטוטים למאמר בפרסומי H2020 שנכתבו בהשתתפות מחברים ישראלים (גודל העיגולים מייצג את מספר הפרסומים בכל שנה). כ-15% מהפרסומים הישראלים המצוטטים ביותר⁷¹ (Highly Cited Papers) בשנים 2014-2023 נכתבו בסיוע מענק ERC.

איור 25: ממוצע הציטוטים למאמרים הישראלים שנכתבו במסגרת H2020



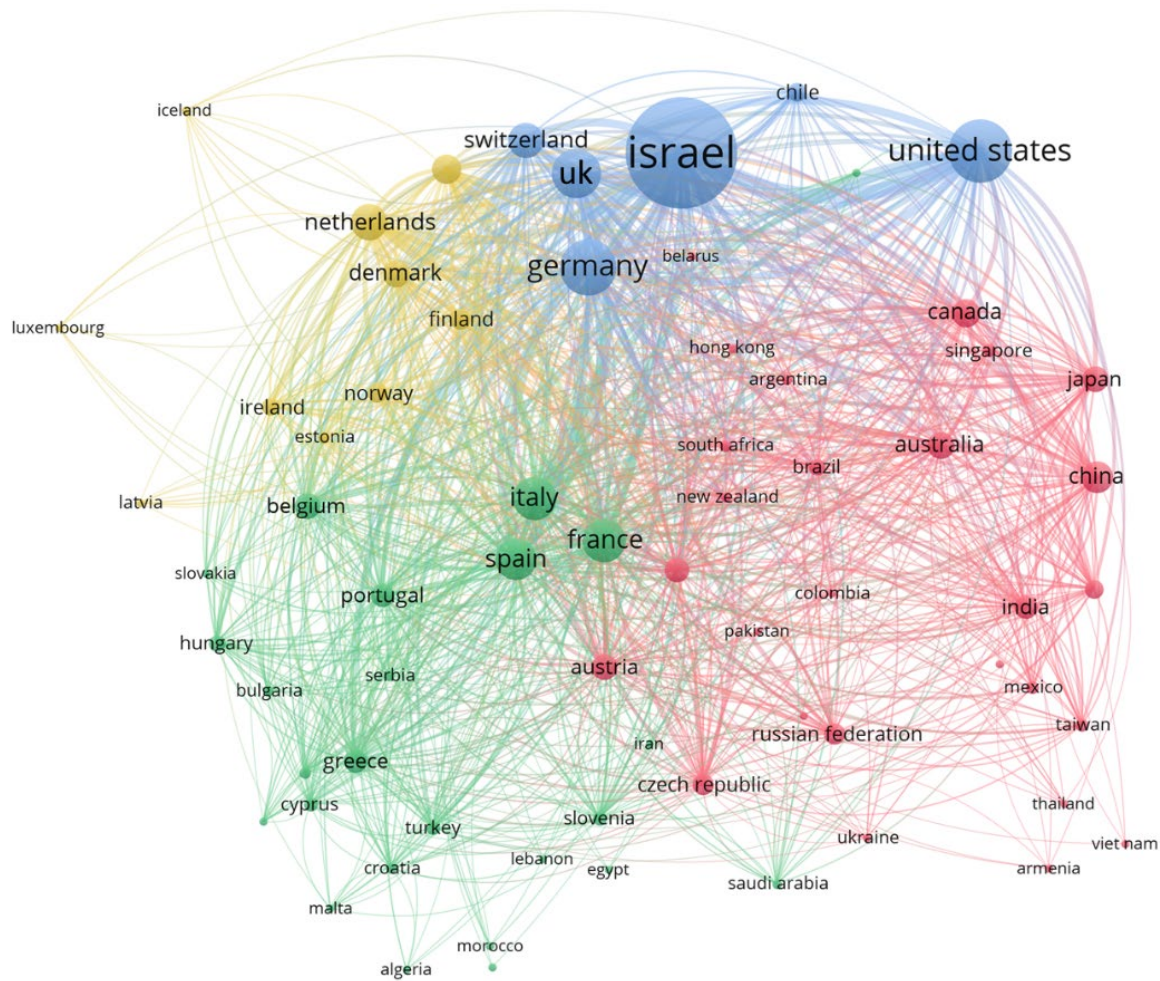
*גודל העיגולים מייצג את מספר הפרסומים השנתי

שת"פ בינלאומי

תכניות המחקר של האיחוד האירופי תרמו באופן משמעותי להרחבת רשתות המחקר האירופיות כך שההשפעות של המרחק הגיאוגרפי והגבולות הלאומיים פחתו בהדרגה⁶⁰. התכנית איפשרה לאיחוד האירופי לפתח ולשדרג תשתית מחקר בקנה מידה גדול הן ברמה האירופית והן ברמה העולמית. למעלה מ-24,000 חוקרים וארגונים קיבלו גישה לתשתיות אלו, והרחיבו הזדמנויות לעבודה משותפת ולהתקדמות מדעית⁷². בתרשים הבא ניתן לראות את קשרי השת"פ של ישראל בפרסומים מדעיים שנכתבו במסגרת H2020 (2014-2023). חוקרי ארה"ב השתתפו בכתיבת 34% מהמאמרים שנכתבו בשיתוף עם חוקרים מישראל, גרמניה – 27%, בריטניה – 23%, איטליה וצרפת – 18% לכל מדינה. יש לציין שמחצית מהמימון הכולל של H2020 ניתנה לארבע מדינות בלבד: גרמניה, בריטניה, צרפת וספרד.

⁷¹ נתוני Highly Cited Papers של Web of Science, יולי 2024

איור 26: קשרי השת"פ של ישראל בכתיבת מאמרי H2020 - 2014-2023



סיכום

תכנית Horizon 2020 הושקה בדצמבר 2013 כתכנית המימון הגדולה ביותר למחקר וחדשנות של האיחוד האירופי. משימת הליבה של התכנית היתה להניע צמיחה כלכלית וליצור מקומות עבודה על ידי שילוב מחקר ופיתוח ושימת דגש על מצוינות מדעית, מנהיגות תעשייתית והתמודדות עם אתגרים חברתיים, בשאיפה להשיג למדינות המשתתפות יתרון תחרותי, חוסן ועצמאות טכנולוגית. התכנית זכתה לעניין רב, עם למעלה ממיליון בקשות שהוגשו ע"י ארגונים מ-177 מדינות שונות במהלך שבע שנות פעילות. תכנית H2020 מימנה קרוב ל-35,000 פרויקטים בהשתתפות כ-40,000 ארגונים. במונחים של השפעה כלכלית, ניתן להעריך שכל יורו שהוצא על התכנית יניב רווח של כחמישה יורו לאזרחי האיחוד האירופי עד שנת 2040.⁷²

⁷² Ex post evaluation of Horizon 2020, the EU framework programme for research and innovation. European Commission. January 2024 [\[source\]](#)

בהתאם ליעדים שנקבעו, תכנית H2020 מילאה תפקיד מפתח בגיוס מימון נוסף של מו"פ והיא תרמה תרומה משמעותית ליעד האיחוד האירופי להשקיע 3% מהתוצר המקומי הגולמי (תמ"ג) במו"פ עד שנת 2020. עד סוף 2020, ההשקעה של האיחוד האירופי במו"פ עלתה ל-2.32% מהתמ"ג, עלייה של 15% מאז הושקה התוכנית לראשונה (2.02%).⁷² ראוי לציין כי 41% מהפרויקטים של H2020 עדיין פעלו בעת ביצוע ההערכה הסופית של התכנית, מה שמצביע על כך שהשפעות התכנית נמשכות וממשיכות להניב תוצאות.

מבחינת חלוקת התקציב - מוסדות ההשכלה הגבוהה קיבלו את החלק הגדול ביותר במימון (40%), ואחריהם ארגונים פרטיים למטרות רווח (28%) וארגוני מחקר (25%). חברות קטנות ובינוניות קיבלו 17% מהמימון, בהיקף של 11.4 מיליארד אירו.⁷²

הערכת הביניים שבוצעה ל-H2020 הובילה לביצוע התאמות משמעותיות במחצית השניה של התכנית. צעדים חדשים ננקטו לקידום המדע הפתוח, עידוד של השתתפות נשים ואיזון מגדרי, שילוב טוב יותר של מדעי החברה ומדעי הרוח והפחתת הנטל האדמיניסטרטיבי על המשתתפים. בנוסף, מסגרת הניטור וההערכה עודכנה כדי לאפשר מעקב יעיל יותר אחר ההשפעה לאורך זמן.

בבחינת נתוני ישראל נמצא ש-2.7% מפרסומי H2020 בשנים 2014-2023 נכתבו בהשתתפות חוקרים מישראל. חוקרי אוניברסיטת ת"א השתתפו בכתיבת 29% מהפרסומים, מכון ויצמן - 28%, הטכניון - 24%, האוניברסיטה העברית - 15%, אוניברסיטת בן-גוריון - 12%, אוניברסיטת בר-אילן - 7%.

30% מהמאמרים הישראליים שנכתבו במסגרת H2020 עוסקים בנושאים של פיזיקה ואסטרונומיה; 24% במדעי המחשב; ביוכימיה, גנטיקה וביולוגיה מולקולרית - 16%; הנדסה ומתמטיקה - כ-15% לכל תחום.

ניתוח הנתונים לפי מקורות פרסום מצביע על כך ש-82% מהמאמרים הישראליים פורסמו בכתבי-עת, 15% בכנסים, והשאר בספרים. 78% מהפרסומים הופיעו במקורות פתוחים (Open Access). כ-15% מהפרסומים הישראליים המצוטטים ביותר (Highly Cited Papers) בשנים 2014-2023 נכתבו בסיוע מענק ERC.

סקירת מחקרים ומדדים חדשים

פרק זה כולל סקירה קצרה של ממצאים ממחקרים שפורסמו בעולם במהלך השנה וכוללים מדדים, דירוגים חדשים ומסקנות שעשויות להיות רלבנטיות לזירה הישראלית. העבודות שנסקרו כוללות התייחסויות לנושאים של מגדר באקדמיה, הערכת תפוקות מחקר, גורמים שמשפיעים על נתוני הציטוטים, פרסום בגישה פתוח (Open Access), ומדדים ביבליומטריים חדשים.

Women's strength in science: exploring the influence of female participation on research impact and innovation⁷³

במחקר זה נעשה שימוש במדדים ביבליומטריים רב-מימדיים כדי לבחון את ההשפעות של פערים מגדריים על אימפקט מדעי וחדשנות מחקרית. ההשתתפות של חוקרות בקהילה המדעית עלתה במהלך חצי המאה החולפת מ-12% ל-35%. תופעה זו ניכרת גם בתחומים של מדעי הטבע וההנדסה, שנחשבים באופן מסורתי כ"נשלטים על ידי גברים". לדוגמה, בפיזיקה, חלקן של נשים שתורמות ככותבות ראשונות ואחרונות עלה מ-17% ל-33% בין השנים 1995 ל-2020. במדעי המוח שיעור זה עלה מ-36% ל-50% באותה תקופה. שיעור הנשים מבין זוכי פרס נובל גדל מ-2.4% ל-3.8% במהלך המאה האחרונה, עם עלייה בולטת במיוחד מ-1.1% ל-8.7% בפיזיולוגיה/רפואה.

מחקרים קודמים הצביעו על כך שהפערים בנתוני תפוקות מחקר של נשים נובעים בעיקר מקריירות פרסום קצרות יותר ושיעור נשירה גבוה יותר. בתצפיות שמתבצעות על פני טווחי זמן קצרים, חוקרות מדגימות פרודוקטיביות שנתית דומה לזו של גברים. עם זאת, נשים מתמודדות עם יותר מחסומים במסלול לקבלת משרה אקדמית; אקדמאיות נוטות לקבל שכר נמוך יותר, סיכויים מופחתים להבטחת מימון מחקר והתמודדות עם אתגרים בהשגת קידום וקביעות.

במחקר הנוכחי, שהתבסס על נתונים של כ-50 מיליון פרסומים מדעיים, נמצאה עליה מתמדת בשיעור המאמרים שנכתבו בהשתתפות חוקרות: מ-42% בשנת 2001 ל-66% ב-2020. בממוצע, שיעור הנשים בצוותי מחקר עלה מ-0.25 בשנת 2000 ל-0.36 ב-2020. בפילוח לפי תחומי מחקר נמצא ששיעור הנשים בצוותי מחקר נמוך במיוחד במדעי הטבע והפיזיקה, ובהנדסה (כ-23%); שיעור הנשים גבוה יותר במדעי החברה, מדעי החיים והרפואה, ומדעי הרוח (כ-35%). במהלך שני העשורים החולפים, רק תחומים בודדים במדעי החיים ומדעי החברה השיגו שוויון מגדרי כולל בהרכב של צוותי המחקר.

מחברות המאמר כותבות כי השתתפות של חוקרות בצוותי מחקר מגדילה את הגיוון המדעי ועשויה להשפיע על הפרספקטיבות של המחקר, בחירת נושאי המחקר, מגוון המתודולוגיות, פרשנות והבנה ייחודית של התוצאות, ואפילו שינויים בדפוסי השת"פ ושיתוף המידע, כך שצוותים עם שיעור גבוה יותר של חוקרות עשויים לייצר תוצאות חדשניות יותר.

⁷³ Shi, W., & Wu, R. (2024). Women's strength in science: exploring the influence of female participation on research impact and innovation. *Scientometrics*, 1-23.

How co-authorship affects the H-index? ⁷⁴

H-Index (מדד הירש) הינו אינדיקטור ביבליומטרי שנועד למדוד תפוקה ואימפקט של פרסומים מדעיים באמצעות שילוב בין נתוני הפרסומים והציטוטים. המדד מחושב על בסיס מספר הפרסומים המצוטטים ביותר של חוקר ומספר הציטוטים שהם קיבלו בפרסומים אחרים. מדד זה מקבל חשיבות גדולה באקדמיה ונמצא בשימוש נרחב בתהליכי גיוס, קידום, ומימון חוקרים.

אחת המגבלות של מדד הירש היא ההתעלמות מהמחברים השותפים של המאמרים (co-authors), כך שלמעשה כל מחבר מקבל את הקרדיט המלא של העבודה המשותפת, דבר שאינו הוגן למטרות הערכה. בנוסף, סביר להניח שמאמר שנכתב ע"י מספר מחברים יקבל יותר ציטוטים לא רק באמצעות ציטוטים עצמיים אלא גם באמצעות ציטוטים מרשת המחברים. גורם נוסף שעשוי להשפיע על ה-H-Index הינו מימד הזמן, מאחר שפרק הזמן הפעיל של חוקר (ותק אקדמי) משפיע לא רק על התפוקה המדעית המצטברת שלו (מספר הפרסומים), אלא גם על נתוני הציטוטים שלו.

מחקרים קודמים מצאו שממוצע המחברים למאמר משתנה לפי תחומי המחקר ונע בין 2.83 ל-6.14 מחברים למאמר. שת"פ מדעי עשוי להועיל לקהילת המחקר מסיבות כמו השלמה של תחומי מומחיות, שיתוף משאבים, שיפור איכות המחקר, הגדלת האימפקט המדעי, ועוד. המספר המקסימלי של מחברים למאמר גדל עם הזמן והגיע לשיאים של למעלה מ-3,000 מחברים למאמר בודד.

מחברי המחקר ערכו סימולציות על נתוני פרסומים וציטוטים של חוקרים מ-5 אוניברסיטאות בריטיות. הכותבים מציעים מדדים חלופיים להערכת הפרודוקטיביות של חוקר [HI/co], ולהשוואה בין מספר חוקרים בעלי ותק אקדמי שונה [HI/(coy)], תוך התחשבות במספר מחברים שותפים ובשאיפה להגיע להערכה הוגנת.

$< HI/co(a) = HI(a) / avgCoAuthors >$ where *avgCoAuthors* is the the average number of co-authors

$< HI/coy(a) = HI / co(a) / Y >$ where *Y* is the active years of researcher *a*

⁷⁴ Tzitzikas, Y., & Dovas, G. (2024). How co-authorship affects the H-index?. *Scientometrics*, 1-33.

The role of non-scientific factors vis-à-vis the quality of publications in determining their scholarly impact⁷⁵

יחסי הגומלין בין איכות מדעית לגורמים שאינם מדעיים מהווה נושא לדיון מתמשך בתהליכי ההערכה של פרסומים אקדמיים. בעוד שביקורת עמיתים משמשת להערכת איכות מדעית, טכניקות ביבליומטריות מודדות השפעה מחקרית. מאמר זה בוחן את התפקיד של תכונות לא מדעיות, ביחס לציוני איכות של ביקורת עמיתים, בקביעת ההשפעה האקדמית. המחקר התבצע על סמך הנתונים של פרויקט הערכת המחקר האיטלקי והציטוטים של מאגר Web of Science. הממצאים שופכים אור על המשמעות של אלמנטים לא מדעיים שהתעלמו מהם בביקורת עמיתים, ומציעים לקובעי המדיניות ומנהלי המוסדות האקדמיים תובנות בבחירת מתודולוגיות הערכה.

הערכת איכות תפוקת המחקר ממלאת תפקיד משמעותי בתהליכי הערכה אקדמיים ובהקצאת משאבים מבוססת ביצועים למוסדות. הויכוח על איזו משתי הגישות עדיפה להערכת מחקר הועלה לאחרונה על ידי יוזמת הקואליציה לקידום הערכת מחקר CoARA⁷⁶ שדוגלת בהערכת מחקר שמתבססת בעיקר על שיקול דעת איכותי, כאשר ביקורת עמיתים משחקת תפקיד מרכזי. עם זאת, חשוב להכיר בכך ששתי השיטות מודדות תכונות שונות של מחקר, האחת היא איכות התפוקה המדעית, והשנייה - השפעתה האקדמית.

היתרונות והחסרונות של כל גישה נדונו בהרחבה בספרות. המגבלה העיקרית של הערכת עמיתים היא הסובייקטיביות שעלולה להשפיע לא רק על הערכת תוצרי המחקר, אלא גם בשלבים המוקדמים יותר של בחירת עמיתים (peers) ובבחירת התוצרים המועמדים להערכה. מגבלות אחרות כוללות ניגודי אינטרסים פוטנציאליים, הנטייה הטבעית להעריך בצורה חיובית יותר מחברים בעלי מוניטין גבוה או חוקרים שקשורים למוסדות יוקרתיים, הקושי בהפעלת שיפוט הוגן על מחקרים חדשניים בעת ביצוע המחקר, האתגר של איתור בודקי איכות ככל שמספר העבודות שיש להעריך עולה, וכן - העלויות והזמן הכרוכים בהערכות בקנה מידה גדול.

מדדים ביבליומטריים מניחים שציטוט מייצג הכרה בהשפעת הפרסום המצוטט על הפרסום המצוטט. המתנגדים טוענים כי מדדים מבוססי ציטוט אינם מתאימים למדידת ההשפעה של עבודה מדעית היות ופרסומים מצוטטים לעתים בטעות (למשל, על סמך קריאה שטחית של התקציר והכותרת). ציטוטים לא תמיד משקפים איכות, שכן ניתן לצטט מחקר כדי להדגים את הפגמים שלו ולא את היתרונות שלו (ציטוטים שליליים - מקרים נדירים מסוג זה מתרחשים בדרך כלל זמן קצר לאחר הפרסום ואינם אמור לשבש את ניתוח הנתונים). ציטוטים עלולים להיות מנוצלים כמניפולציה ע"י מחברים לטובתם האישית (ציטוטים עצמיים וצולבים), או ע"י עורכים שבמקרים מסוימים מפעילים לחץ על מחברים לצטט מחקרים שכבר פורסמו בכתבי העת שלהם כדי להגביר את ההשפעה של כתבי העת שלהם. מגבלה נוספת היא התופעה של "הכרה מושהית" ("sleeping beauty") שמתייחסת למאמרים שזכו למעט תשומת לב בתקופה שלאחר הפרסום, אך זוכים לעליה גבוהה במספר הציטוטים בהמשך. בנוסף, השימוש בנתוני ציטוטים מחייב הסתמכות על מאגרים

⁷⁵ Abramo, G., D'Angelo, C. A., & Grilli, L. (2024). The Role of Non-scientific Factors vis-à-vis the Quality of Publications in Determining their Scholarly Impact. *Scientometrics*, 1-17.

ביבליומטריים שאינם מתעדים את כל הפרסומים, ובדיסציפלינות כמו אמנויות ומדעי הרוח, הכיסוי שלהם חלקי ולא בהכרח משקף את הסטטוס של תפוקות המחקר.

הדעה הרווחת בקרב רוב החוקרים והעוסקים בהערכת מחקר היא שהערכת ביקורת עמיתים נחשבת כסטנדרט הזהב, בעוד שהערכה מבוססת ציטוטים משמשת כחלופה מהירה וחסכונית יותר. תוצאות המחקר האיטלקי מצביעות על כך שציטוטים מוקדמים מציעים תחזיות טובות יותר לגבי ההשפעה המדעית ארוכת הטווח של פרסומים מדעיים בהשוואה לציוני איכות של ביקורת עמיתים. כדי לשפר את הבהירות של יעדי ההערכה המחקרים ממליצים לעדכן את המונחים ולהשתמש בהגדרה של "הערכת השפעת המחקר" (research impact), במקום "הערכה של איכות המחקר" (research quality).

An integrated indicator for evaluating scientific papers: considering academic impact and novelty⁷⁷

מאמר זה מציע מדד משולב להערכת מאמרים מדעיים תוך התחשבות בהשפעה אקדמית וחדשנות, ומתייחס לצורך בשיטות הערכה מדויקות יותר בהערכה אקדמית. מתוך הכרה במגבלות של מדדים ביבליומטריים מסורתיים, המסתמכים לעתים קרובות רק על ספירת ציטוטים, המחברים מציעים גישה משולבת המשקללת הן את ההשפעה האקדמית והן את החדשנות של עבודה מדעית. המחקר מציג ספירת ציטוטים המתאימה עצמה לגורמים כמו רגישות הציטוטים ותקופת הפרסום, לצד מדידת חדשנות המבוססת על ניתוח טקסטואלי באמצעות אלגוריתם שפותח ע"י צוות המחקר. מיקוד כפול זה נועד להציג מדד מקיף יותר שמשקף את התרומה המחקרית של הפרסומים.

המחברים מאמתים את המדד המוצע באמצעות מקרי בוחן ומדגימים כיצד המודל שלהם מזהה בהצלחה מאמרים משפיעים וחדשניים. המדד המשולב מאתר ביעילות מחקרים בולטים באמצעות בדיקת נתוני הציטוטים לאורך זמן – שמעידים על השפעה אקדמית מתמשכת, וזיהוי מאפייני תוכן ייחודיים שמצביעים על מקוריות. המחקר מגלה שמאמרים זוכי פרסים זוכים לציונים גבוהים במדד המשולב, מה שעשוי להעיד על היכולת של המדד החדש להציג מדדים אמינים של תרומה מדעית מעבר לספירת ציטוטים סטנדרטית.

המחברים טוענים שמדדים מסוג זה עשויים לעודד חוקרים לבצע פרויקטים חדשניים ללא הלחץ של מקסום ציטוטים. בנוסף, החוזק של המודל על פני תחומים ומערכי נתונים ממצב אותו ככלי פוטנציאלי בעל ערך להערכות מחקר מגוונות, המספק גישה מאוזנת יותר למדידת הצלחה אקדמית המתחשבת הן בהשפעה מיידית והן בפוטנציאל הטרנספורמטיבי של רעיונות חדשניים.

⁷⁷ Yan, Z., & Fan, K. (2024). An integrated indicator for evaluating scientific papers: considering academic impact and novelty. *Scientometrics*, 1-21.

Highly Ranked Scholars and the influence of countries and regions in research fields, disciplines, and specialties⁷⁸

מחקר זה מציג ניתוח חדשני מקיף של ההשפעה האקדמית העולמית באמצעות זיהוי חוקרים מובילים (Highly Ranked Scholars, HRS) תוך שימוש במסד הנתונים ScholarGPS. המחקר בוחן את ההתפלגות וההשפעה המדעית של יותר מ-30 מיליון חוקרים בלמעלה מ-200 מדינות, עם התמקדות ב-14 תחומים רחבים, שתי דיסציפלינות (כימיה ומדעי המחשב) ושלוש התמחויות (בינה מלאכותית, פולימרים ותאי גזע). ניתוח הביצועים מתפרש על פני הותק האקדמי הכולל של החוקרים (Lifetime) וכן על פני 5 השנים האחרונות (Prior Five Years), ומציג מגמות מרכזיות בהשפעה המדעית של מדינות ואזורים.

פלטפורמת ScholarGPS⁷⁹ מהווה מסד נתונים מתקדם המשתמש בבינה מלאכותית ולמידת מכונה כדי להעריך את פעילותם המחקרית של מדענים על פי שלושה מדדים מרכזיים: פרודוקטיביות (מספר פרסומים), איכות (מספר ציטוטים) והשפעה (מדד h-index). הפלטפורמה אוספת נתונים ממקורות מגוונים כמו PubMed, Crossref, ו-Microsoft Academic Graph, ומשפרת את איכותם על ידי סינון פרסומים שאינם אקדמיים (archival publication), הסרת כפילויות ותיקון שגיאות. פרסומים אקדמיים כוללים מאמרים שעברו ביקורת עמיתים, פרסומי כנסים, ספרים ופטנטים (חומרים כמו ביקורות ספרים, אינם נכללים)⁸⁰.

המערכת מקטלגת את החוקרים ל-14 תחומים, 177 דיסציפלינות ומעל 350,000 התמחויות, תוך הבטחת סיווג עם דיוק גבוה על בסיס רשומות הפרסומים שלהם. דירוג החוקרים מתבצע באמצעות ממוצע גיאומטרי של דירוגי הפרודוקטיביות, האיכות וההשפעה, כאשר ה-0.05% המובילים מוגדרים כ-HRS. הפלטפורמה גם מבצעת הרמוניזציה של שמות ומאפשרת לחוקרים לתקן את הפרופילים שלהם, מה שמשפר את אמינות הנתונים.

המחקר חושף שינויים בולטים במאזן ההשפעה האקדמית הגלובלית. בעוד שארה"ב עדיין מובילה במדדים המצטברים (Lifetime), השפעתה ירדה משמעותית בשנים האחרונות. לעומתה, סין, הודו ואירן הראו עלייה ניכרת במספר ה-HRS, מה שעשוי להעיד על השקעתן הגדלה במחקר ופיתוח. לדוגמה, חלקה של סין ב-HRS גדל מ-1.4% במדדים המצטברים ל-20.9% במדדי 5 השנים האחרונות, והציב אותה בראש תחומים כמו הנדסה, מדעי המחשב ומדעי הפיזיקה.

המחקר מצביע גם על מגמות ייחודיות לדיסציפלינות נבחרות. בתחום הכימיה, סין עקפה את ארה"ב בהשפעה מדעית בשנים האחרונות, ובמדעי המחשב הפער בין שתי המדינות כמעט נסגר. מדינות מתפתחות כמו אירן, ערב הסעודית וסינגפור מציגות התקדמות בולטת, בעיקר בהתמחויות חדשות כמו בינה מלאכותית. לעומת זאת, מדינות עם היסטוריה ארוכה של הובלה אקדמית, כמו יפן ומספר מדינות אירופיות, מציגות ירידה באימפקט המדעי.

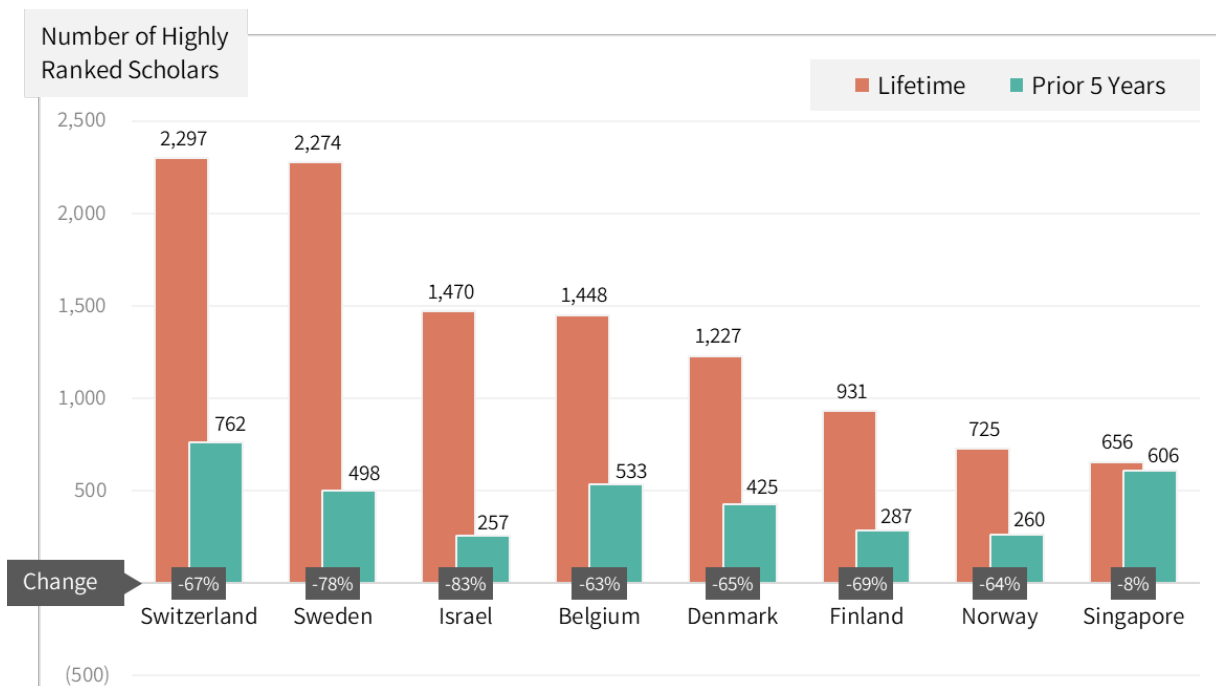
⁷⁸ Faghri, A., & Bergman, T. L. (2024). Highly Ranked Scholars and the influence of countries and regions in research fields, disciplines, and specialties. *Quantitative Science Studies*, 5(2), 464-483.

⁷⁹ ScholarGPS: Scholar and Institutional Profiles / Rankings [[website](#)]

⁸⁰ ScholarGPS® Ranking Terminology and Methodology [[source](#)]

המחקר מדגיש את את השינוי המתמשך בנוף האקדמי העולמי, המונע ע"י גורמים כמו צמיחה כלכלית, מדיניות לאומית ממוקדת וניידות חוקרים. מחברי המאמר כותבים כי מסד הנתונים ScholarGPS מהווה כלי חשוב עבור מקבלי החלטות ומובילים אקדמיים, ומאפשר לזהות מגמות מתפתחות ולהקצות משאבים באופן אסטרטגי. באמצעות ניתוח השינויים בהובלה האקדמית על פני ציר הזמן, המחקר מספק תובנות קריטיות לקידום שיתוף פעולה בינלאומי ושמירה על תחרותיות מערכות המחקר.

התרשים הבא מתאר את השינוי במספר חוקרי HRS של ישראל בהשוואה למדינות הייחוס⁸¹ לפי נתוני ScholarGPS. ניתן לראות שישראל מדורגת במקום השלישי בנתונים המצטברים (Lifetime), ויורדת למקום השמיני בנתוני 5 השנים האחרונות, עם ירידה של 83% במספר חוקרי HRS בין שתי התקופות. סינגפור שומרת על מספר דומה של HRS בשתי התקופות, עם ירידה קלה של 8%.



⁸¹ מדינות בנות השוואה שדומות לישראל מבחינת גודל האוכלוסיה ומספר הפרסומים השנתי

Analysis of journal rankings confirms that more cited articles contain more references⁸²

נתוני הציטוטים של מאמרים מהווים חלק מתהליך ההערכה באקדמיה היות והם עשויים לשקף את ההשפעה המדעית והרלבנטיות של מחקרים נבחרים ביחס לתחומי מדע מקבילים. רוב המאמרים אינם זוכים למספר גבוה של ציטוטים; יוג'ין גארפילד, שנחשב לאבי המדדים הביליומטריים, קבע ב-2006 כי 20% מהמאמרים מקבלים 80% מהציטוטים⁸³. פרסומים מדעיים זוכים לקבל ציטוטים בהתאם למגוון רחב של גורמים, כגון איכות, חדשנות, מתודולוגיית המחקר ועוד. מחקרים ביביליומטריים זיהו מאפיינים נוספים המשפיעים על נתוני הציטוט של מאמרים, ובהם אורך המאמרים, מספר המחברים ומספר הרפרנסים.

מחקר זה התמקד בניתוח הקשר בין מספר הרפרנסים של מאמרים, דירוג כתבי-העת בהם פורסמו ומספר הציטוטים שקיבלו. נמצא מתאם חזק בין מספר הרפרנסים שמופיעים במאמרים לבין נתוני הציטוטים שלהם ושל כתבי-העת בהם פורסמו. תופעה זו תואמת לאפקט מת'יו⁸⁴ (Matthew Effect) שמתייחס לכך שמחברים מעדיפים לקרוא ולצטט במחקרים שלהם מאמרים שהתפרסמו בכתבי-עת בעלי דירוג גבוה. המאמר מתאר מנגנון מעגלי מורכב, שבו כתבי עת יוקרתיים מושכים ציטוטים בשל מעמדם, ובו-זמנית, מחברים המפרסמים בהם נוטים לכלול מספר גדול יותר של רפרנסים. דינמיקה זו מחזקת את מעמדם של הן כתבי העת והן המאמרים, תוך יצירת מעגל השפעה מתמשך. המחקר מציע פרספקטיבה חדשה על דינמיקות הפרסום המדעי בתחומים שונים, כגון הנדסה כימית, מתמטיקה, מדעי המחשב, נוירולוגיה ופסיכולוגיה. תוצאה מעניינת נמצאה בתחום של מדעי המחשב עם קצב צמיחה גבוה במדד של מספר הרפרנסים למאמר מאז שנת 2010 (בהשוואה לתוצאות שהתקבלו עבור מתמטיקה).

The cost of open access: comparing public projects' budgets and article processing charges expenditure⁸⁵

פרסום במודל גישה פתוחה (OA – Open Access) כרוך לעתים קרובות בתשלום של עלויות נלוות מסוג APC (Article processing charges), במיוחד במסלולים היברידיים ו-Gold journals. הצמיחה בפרסומים בגישה פתוחה קשורה לחיוב מנדטורי של OA ע"י קובעי מדיניות וגופי מימון. מדיניות זו אילצה מממנים, מוסדות אקדמיים וחוקרים לפתח אסטרטגיות לתשלום APC. מחקר זה ניסו להעריך את שיעור התקציב של הפרויקטים הממומנים ע"י תכניות מו"פ ממשלתיות

⁸² Praus, P. (2024). Analysis of journal rankings confirms that more cited articles contain more references. *Scientometrics*, 1-8.

⁸³ Garfield, E. (2006). The history and meaning of the journal impact factor. *jama*, 295(1), 90-93.

⁸⁴ Merton, R. K. (1968). The Matthew effect in science: The reward and communication systems of science are considered. *Science*, 159(3810), 56-63.

⁸⁵ Alonso-Álvarez, P., Sastrón-Toledo, P., & Mañana-Rodríguez, J. (2024). The cost of open access: Comparing public projects' budgets and article processing charges expenditure. *Scientometrics*, 1-18.

בספרד. התוצאות מצביעות על כך שבין השנים 2013-2019 45.87 מיליון אירו שולמו על APCs, כאשר רוב הפרויקטים הוציאו 3-8% מהתקציבים שלהם. עם זאת, נמצאו גם פרויקטים אחרים שהוציאו למעלה מ-10% על APC במהלך פעילות המחקר.

עבודות קודמות הזהירו מפני ההשפעות המזיקות של המודל הנוכחי של פרסום ב-OA, במיוחד במונחים של העמקת אי השוויון בקהילה האקדמית בתרחיש שבו רק מדינות, מוסדות וחוקרים עתירי אמצעים יכולים להרשות לעצמם לפרסם ב-OA. אי השוויון מתקיים גם בהשוואה בין תחומי ידע שונים. חוקרים מתחומים עם שיעורי פרסום גבוהים יותר, שמוכנים או נדרשים לפרסם ב-OA, נאלצים להתמודד לעתים קרובות יותר עם תשלומי ה-APC. גם ליכולת של תחומי מחקר למשוך מימון יש השפעה על היקף המשאבים ואפשרויות המימון של APC. בעשורים האחרונים, המעבר למנגנוני מימון תחרותיים הוביל לתחרות מוגברת על משאבים. העליה במחירי ה-APC עלולה לפגוע בחוקרים שאין להם גישה למימון פרויקטלי או מוסדי.

מחקרים שניסו לכמת את סכומי ההשקעה הציבורית שהועברו למפרסמים כ-APC מצביעים על כך שהסכומים ששולמו ע"י מוסדות אירופיים כמעט הוכפלו מ-2005 ל-2018. ה-APC ששולמו לכתבי עת של Elsevier, Sage, Springer-Nature, Taylor & Francis ו-Wiley בין השנים 2015-2018 מוערכים ב-1,06 מיליארד דולר.

מחקר איכותני המבוסס על סקרים מצא כי חוקרים משתמשים לעתים בכספים האישיים שלהם כדי להתמודד עם תשלומי APC. עם זאת, מימון מענקים הוא בדרך כלל השיטה המועדפת למימון APC. עובדה זו מעוררת שאלות כלכליות וגם אתיות. ראשית, שיעור הכסף הציבורי ששולם ל-APC דרך תקציבי הפרויקטים. שנית, האם ראוי שתקציבי הפרויקטים ישמשו לתשלום עלויות פרסום ולא לצרכים מדעיים 'טהורים', כגון קניית ציוד או העסקת חוקרים או צוות טכני.

ברחבי העולם ישנו ניסיון לפתח מודלים אלטרנטיביים של הוצאה לאור, כמו למשל פרסומים מסוג Diamond שהם כתבי עת במימון מוסדי שאינם גובים עמלות על פרסום או קריאה. ניסיון אחר להתמודדות עם הבעיה נעשה באמצעות הסכמים טרנספורמטיביים בין מפרסמים ומוסדות שבהם האחרונים משלמים סכום כסף כדי לכסות את העמלות לפרסום ב-OA עבור מספר מוגבל של מאמרים.

Public funding accountability: a linked open data-based methodology for analysing the scientific productivity and influence of funded projects⁸⁶

ממשלות רבות ברחבי העולם משתמשות במימון תחרותי לקידום מחקר איכותי ותמיכה במחקר המבוסס על מציאות מדעית. גופי מימון שואפים לבסס מתודולוגיות שיאפשרו לנתח בצורה יעילה את השפעת המימון שהם מקצים לתפוקות מדעיות - כמקור לגיבוש מדיניות ותכנון אסטרטגי, באופן

⁸⁶ Perianes-Rodríguez, A., Olmeda-Gómez, C., Delbianco, N. R., & Grácio, M. C. C. (2024). Public funding accountability: a linked open data-based methodology for analysing the scientific productivity and influence of funded projects. *Scientometrics*, 1-28.

שיאפשר שימוש אופטימלי בהשקעות, אחריות ציבורית ושקיפות של ניהול הקרנות. מאמר⁸⁶ שפורסם ב-Scientometrics מדגים את השימוש בנתוני המימון שמופיעים במאמרים תחת סעיף מקורות מימון [FA - Funding Acknowledgements] ככלי להערכת ביצועי המימון של מחקרים. אסטרטגיה מסוג זה צריכה לאפשר לגופי המימון לקבוע כמה פרסומים הם מימנו ואיזו נראות השיגו, כמו גם למדוד את שיעור ההשקעות שהפכו לפרסומים פורצי דרך.

דוגמאות לקשיים שדווחו במחקרים שבדקו את הקשר בין תפוקות מחקר למקורות מימון: קושי בשיוך ישיר של התפוקות למענק ספציפי בגלל היעדר כלים מוסדיים של נתוני תשומה-תפוקה; גם כאשר מנגנונים כאלו קיימים, נדרשים מאמצים אדירים כדי לנקות ולנרמל את הנתונים; נתוני המימון מופיעים בדרך כלל בסעיף התודות של המאמר – חלק שאינו מובנה ואינו אחיד מבחינת תצוגת המידע; רק חלק קטן מהמחברים מציינים במפורש איזו תכנית ספציפית סיפקה את התמיכה למחקר; במאמרים מציגים לרוב מימון משותף של מספר סוכנויות – מה שמקשה על מדידת הביצועים של גופי מימון נפרדים; פערי הזמנים בין מימון לפרסום; נתוני המימון אינם ממחישים את המורכבות המלאה של נקודות המבט והתוצאות המרובות הנובעות מפעילות מדעית (פטנטים, הסכמי שיתוף פעולה, הכשרת חוקרים, חוזים, רכש ציוד וכו'). בנוסף, בעיות טכניות, כגון שגיאות איסוף ועיבוד נתונים, והשמטת מידע עקב טעויות של המחברים, משפיעות על ניתוח הנתונים ועלולות לפגוע בדיוק ובאמינות של התוצאות המתקבלות.

מחברי המאמר מציגים מתודולוגיה חדשה שמחברת בין מידע ממקורות פתוחים לנתוני הפרסומים המתאימים באמצעות שימוש ב-FA. השיטה הודגמה ונבדקה על נתוני הפרויקטים שמומנו ע"י סוכנות המדע והמחקר הלאומית הספרדית בשנים 2008-2020. נמצא שרק 45.7% מהפרויקטים מוזכרים ב-FAs של פרסומים מדעיים. בדומה לממצאי מחקרים קודמים, נמצא כי לשיתוף פעולה בינלאומי וגם למימון שמקבלים השותפים הבינלאומיים השונים יש השפעה חיובית על הנראות של תפוקת המחקר; המשקל של שת"פ בינלאומי בשילוב עם מימון משותף הינו גדול יותר בפרסומים שיש להם אימפקט גבוה יותר.

במאמר מוצגת שיטה מתקדמת לניתוח נתוני הפרסומים לפי מספר גופי המימון פר פרסום⁸⁷ [funders] ולפי רשתות מימון בינלאומיות [international co-funders]. במחקר נמצאו 4,714 גופי מימון בינלאומיים שהופיעו ברשימות ה-FA של המאמרים שנבדקו.

הכותבים ממליצים על הקמת מסד נתונים עולמי פתוח של אינדיקטורים שימושיים בפרויקטים הממומנים ע"י ארגונים ציבוריים. מאגר כזה יסייע להערכת המשימות הכרוכות במימון ובפרסום מדעי, באופן שיאפשר שקיפות והשוואה אובייקטיבית של תוצאות.

⁸⁷ Number of funders: number of funding agencies per publication

Payments by Drug and Medical Device Manufacturers to US Peer Reviewers of Major Medical Journals⁸⁸

מחקר שפורסם ב-JAMA באוקטובר 2024 שופך אור על מגמה מדאיגה בפרסום הרפואי וחושף את הקשרים הפיננסיים הנרחבים בין התעשייה למבקרים עמיתים (peer reviewers) של כתבי עת מובילים, בעיקר דרך ערוצים של מימון מחקר. הפרסום שאף לאפיין את היקף התשלומים מהתעשייה למבקרים עמיתים של ארבעה כתבי עת רפואיים יוקרתיים: The BMJ, JAMA, The Lancet, ו-The New England Journal of Medicine.

מחברי המאמר ניתחו את רשימות המבקרים העמיתים של כתבי עת אלו בהצלבה עם נתוני תשלומים ממאגר Open Payments ומצאו קשרים פיננסיים משמעותיים בין התעשייה למבקרים העמיתים. כמעט 59% מהמבקרים העמיתים קיבלו לפחות תשלום אחד מהתעשייה במהלך תקופת המחקר. הסכום הכולל של תשלומים אלה הסתכם ב-1.06 מיליארד דולר במשך שלוש שנים. ראוי לציין כי הרוב המכריע (94%) של סכום זה יוחס לתשלומי מחקר, בעוד שתשלומים כלליים היוו את ה-6% הנותרים (64.18 מיליון דולר).

בקרב אלה שקיבלו תשלומים, התשלום הכללי החציוני היה 7,614 דולר, עם טווח בין-רבעוני רחב של 495 עד 43,069 דולר. תשלומי המחקר היו גבוהים משמעותית, עם חציון של 153,173 דולר וטווח בין-רבעוני של 29,307 עד 835,637 דולר. המחקר הדגיש גם פערים מגדריים, כאשר מבקרים גברים קיבלו תשלומים חציוניים גבוהים משמעותית בהשוואה לעמיתות. יתר על כן, נצפו הבדלים משמעותיים בסכומי התשלומים בין התמחויות רפואיות שונות. ממצאים אלה מדגישים את החשיבות של בחינת האופן שבו קשרים פיננסיים אלה עשויים להשפיע על יושרת תהליך ביקורת העמיתים בפרסום רפואי.

ההשלכות של מחקר זה רחבות היקף ומעלות שאלות מהותיות לגבי ניגודי עניינים פוטנציאליים בתהליך ביקורת העמיתים. הפרסום מדגיש את הצורך בשקיפות רבה יותר ביחסים בין התעשייה למבקרים העמיתים ומעלה את הצורך בהגדרת מדיניות מקיפה יותר של ניגוד עניינים בפרסומים מדעיים. שקיפות מהימנה הינה דרישה קריטית לשמירה על אמינות המחקר הרפואי והפצתו.

The mutual reinforcement of scientific and technological knowledge—a technology-level analysis⁸⁹

ההתקדמות הטכנולוגית תלויה במידה מכרעת בתהליכים שבהם נוצר ידע חדש. תהליכים אלו מורכבים וכוללים גורמים וקשרים שונים, כמו גם סוגים שונים של ידע. מחברי המאמר בוחנים את הגישה המקובלת שרואה את המדע כמקור היחיד של התקדמות טכנולוגית, ומציעים מודל דינמי

⁸⁸ Nguyen, D. D., Muramaya, A., Nguyen, A. L., Cheng, A., Murad, L., Satkunasivam, R., & Wallis, C. J. Payments by Drug and Medical Device Manufacturers to US Peer Reviewers of Major Medical Journals. JAMA.

⁸⁹ Szczygielski, K., & Mycielski, J. (2024). The mutual reinforcement of scientific and technological knowledge—a technology-level analysis. Scientometrics, 1-17.

יותר של השפעה הדדית. בניגוד לתפיסות קודמות שהדגישו את תפקיד המדע באופן חד-צדדי, המחקר מציע כי הקשר בין מדע לטכנולוגיה מורכב יותר, עם השפעות הדדיות שעשויות לקדם זו את זו.

המחקר מתמקד בחקירת מערכת היחסים המורכבת בין מדע לטכנולוגיה, תוך התמודדות עם האתגר המרכזי של מיעוט הפניות ישירות מפרסומים מדעיים לפטנטים. החוקרים פיתחו מתודולוגיה חדשנית המבוססת על למידת מכונה, המאפשרת סיווג מאמרים מדעיים וקישור למרחב הטכנולוגי באמצעות טקסונומיית הארגון העולמי לקניין רוחני (WIPO), וניתחו מסד נתונים הכולל 2.5 מיליון מאמרים ו-5 מיליון פטנטים שפורסמו לאורך 25 שנים. המחקרים סיווגו את התכנים ל-35 תחומי טכנולוגיה, והשתמשו בגישת הסיבתיות של Granger לבחינת יכולת החיזוי ההדדית של התפתחויות מדעיות וטכנולוגיות.

התוצאות מצביעות על כך שהתפתחות התפוקה המדעית מהווה מנבא טוב להתפתחות הייצור הטכנולוגי. השפעות מובהקות זוהו בתחומי טכנולוגיות המידע, הנדסה כימית, רובוטיקה וטכנולוגיות סביבתיות. ממצאי המחקר מעידים על המורכבות של תהליכי יצירת ידע, תוך הדגשת החשיבות של ראייה הוליסטית של חדשנות. בעוד מחקרים קודמים התמקדו בעיקר בהשפעת המדע על הטכנולוגיה, עבודה זו מציעה פרספקטיבה רחבה יותר, המדגישה את האינטראקציות המורכבות והדו-כיווניות בין תחומי הידע. התובנות עשויות להיות בעלות חשיבות למדיניות מדע, טכנולוגיה וחדשנות, ומדגישות את הצורך בגישה דינמית ואינטגרטיבית להבנת תהליכי התקדמות טכנולוגית.



neaman.org.il

מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית | קרית הטכניון,
חיפה 3200003 | טל. 04-8292329 | info@neaman.org.il

מדע וטכנולוגיה