



תעשייה וחדשנות

קידום ההובלה של התעשייה הישראלית בטכנולוגיות עתידיות

ד"ר דפנה גץ
ורד גלעד
ציפי בוכניק
אושרת כץ שחם
סימה ציפרפל
אליעזר שיין
אלה ברזני
ד"ר נועה לביד
ד"ר ערון לק



תשתיות
פיזיות

בריאות

הון
אנושי

השכלה
גבוהה

חברה

חינוך

כלכלה

מדע
וטכנולוגיה

סביבה
ואנרגיה

תכנון
ארוך טווח



קידום ההובלה של התעשייה הישראלית בטכנולוגיות עתידיות

מוגש לרשות החדשנות

חוקרים: ד"ר דפנה גץ, ורד גלעד, ציפי בוכניק, אושרת כץ שחם, סימה
ציפרפל, אליעזר שיין, אלה ברזני, ד"ר נועה לביד, ד"ר ערן לק

אין לשכפל כל חלק מפרסום זה ללא רשות מראש ובכתב 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

10	מבוא	1
10.....	מתודולוגיה	1.1
11.....	עבודות קודמות שבוצעו במוסד נאמן	1.2
12	אגרוטק וחקלאות מדייקת (Precision Agriculture)	2
12.....	אגרוטק וחקלאות מדייקת - רקע	2.1
15.....	אגרוטק בישראל	2.2
22.....	היתרונות של ישראל בתחום החקלאות המדייקת	2.3
23.....	נספחים	2.4
31.....	מקורות	2.5
33	מקורות מזון חדשים	3
33.....	יתרונות, אתגרים והמלצות	3.1
35.....	רקע	3.2
42.....	תחום מקורות המזון האלטרנטיביים בישראל	3.3
43.....	תמיכה ממשלתית בתחום	3.4
43.....	משקיעים	3.5
45.....	תעשייה	3.6
46.....	אקדמיה ומכוני מחקר	3.7
47.....	מדדים ביבליומטריים- פרסומים מדעיים	3.8
48.....	בקשות לפטנטים	3.9
49.....	היתרונות של ישראל בתחום המזון האלטרנטיבי	3.10
50.....	נספח 1: השוואת אתגרים והזדמנויות של מקורות מזון חדשים מסוגים שונים	3.11
52.....	מקורות לפרק מקורות מזון אלטרנטיביים	3.12
55	תקשורת לוויינים	4
55.....	תקשורת לוויינים – רקע	4.1
58.....	פעילותה של ישראל בתחום תקשורת הלוויינים	4.2
58.....	תעשייה בישראל בתחום של תקשורת לוויינים	4.3
60.....	תפוקות מו"פ בתחום תקשורת לוויינים	4.4
63.....	תמיכה ממשלתית בתחום	4.5
65.....	מענקי מחקר	4.6
65.....	חוזקות וחולשות של תעשיית החלל הישראלית – תקשורת לוויינים	4.7
67.....	נספחים	4.8
75.....	מקורות	4.9
76	משאבי חלל – כריית משאבים בחלל	5

76.....	רקע.....	5.1
77.....	האתגרים הטכנולוגיים של כריית משאבים בחלל.....	5.2
78.....	הערכה כלכלית של שוק משאבי חלל.....	5.3
78.....	תעשיית משאבי חלל בעולם.....	5.4
80.....	פעילות בינלאומית ממשלתית בתחום משאבי חלל.....	5.5
82.....	תעשיית משאבי החלל בישראל.....	5.6
83.....	מדדים ביבליומטריים.....	5.7
84.....	בקשות לפטנטים.....	5.8
84.....	מענקי מחקר בתחומי משאבי חלל.....	5.9
85.....	היתרונות של ישראל בתחום משאבי חלל.....	5.10
86.....	נספחים.....	5.11
87.....	מקורות.....	5.12

6 שילוב רב תחומי ביולוגיה, תוכנה והנדסה לעולם הרפואה (Bio -

88.....Convergence)

88.....	רקע.....	6.1
91.....	יתרונותיה של ישראל בתחום.....	6.2
91.....	הסקטור האקדמי.....	6.3
95.....	הסקטור התעשייתי.....	6.4
99.....	מענקי מחקר בתחומי ה Bio-Convergence.....	6.5
99.....	פטנטים.....	6.6
101.....	ניתוח ביבליומטרי - פרסומים מדעיים.....	6.7
103.....	תובנות והמלצות.....	6.8
110.....	נספחים.....	6.9
113.....	מקורות.....	6.10

7 אגירת אנרגיה (Energy Storage) 117.....

117.....	אגירת אנרגיה - רקע.....	7.1
118.....	פיתוח טכנולוגי של סוללות לאגירת אנרגיה ליישומים שונים.....	7.2
121.....	פיתוח טכנולוגי של קבלי על (Supercapacitors) לאגירת אנרגיה.....	7.3
123.....	אגירת אנרגיה מימן.....	7.4
124.....	אנרגיה סולארית פוטו-וולטאית (PV) בשילוב אגירת אנרגיה.....	7.5
125.....	אגירת אנרגיה במבנים ולצריכה עצמית - Residential Energy Storage.....	7.6
126.....	יישומי אגירת אנרגיה עבור רכבים חשמליים.....	7.7
126.....	טכנולוגיות לניהול רשת / ניהול עומסים דיגיטלי למיקסום יעילות השימוש במערכות לאגירת אנרגיה.....	7.8
127.....	אגירת אנרגיה בישראל.....	7.9
128.....	תמיכה ממשלתית בתחום אגירת אנרגיה.....	7.10
130.....	תעשייה בישראל בתחום אגירת אנרגיה.....	7.11

132.....	משקיעים	7.12
133.....	פעילות אקדמית ומרכזי מחקר	7.13
134.....	חממה טכנולוגית	7.14
134.....	מדדים ביבליומטריים	7.15
136.....	בקשות לפטנטים	7.16
136.....	מענקי מחקר	7.17
137.....	כנסים	7.18
138.....	יתרונות וחסרונות של ישראל בתחום אגירת אנרגיה והמלצות לפעולה	7.19
141.....	נספחים	7.20
149.....	מקורות	7.21
153.....	שינוע אנרגיה	8

153.....	שינוע אנרגיה - רקע	8.1
153.....	שינוע של מימן	8.2
157.....	העברת חשמל באמצעות כבלים תת-קרקעיים	8.3
162.....	העברה אלחוטית של חשמל	8.4
163.....	שינוע אנרגיה בישראל	8.5
164.....	תמיכה ממשלתית בתחום שינוע אנרגיה	8.6
165.....	תעשייה בישראל בתחום שינוע אנרגיה	8.7
166.....	פעילות אקדמית ומרכזי מחקר	8.8
167.....	מדדים ביבליומטריים	8.9
168.....	בקשות לפטנטים	8.10
169.....	מענקי מחקר	8.11
169.....	חוזקות וחולשות של ישראל בתחום שינוע אנרגיה	8.12
171.....	נספחים	8.13
180.....	מקורות	8.14

9 פוטוניקה אינטגרטיבית/סיליקון פוטוניקס – Integrated

182.....	Silicon Photonic/Photonics	
182.....	רקע	9.1
188.....	תחום הפוטוניקה האינטגרטיבית בישראל	9.2
194.....	היתרונות והחסמים של ישראל בתחום הפוטוניקה האינטגרטיבית	9.3
196.....	נספחים	9.4

10 הדפסה תלת-ממדית של חומרים מתקדמים, טכנולוגיות ויישומים..... 204

204.....	רקע	10.1
204.....	סוגי חומרים להדפסת תלת מימד	10.2
208.....	פוטופולימרים (Photopolymers)	10.3
209.....	קרמיקה (Ceramics)	10.4

210.....	מתכות.....	10.5
212.....	חומרים אחרים.....	10.6
213.....	השוואה בין חומרים המשמשים להדפסת תלת מימד.....	10.7
214.....	טכנולוגיות המשמשות להדפסת תלת מימד והחומרים המשמשים להדפסה.....	10.8
215.....	דינמיקת השוק של חומרים מתקדמים לשוק הדפסת התלת מימד.....	10.9
217.....	סיכום.....	10.10
218.....	תחום חומרים מורכבים להדפסת תלת מימד בישראל.....	10.11
228.....	סיכום מסקנות ותובנות.....	10.12
230.....	נספחים.....	10.13
236.....	מקורות.....	10.14

11 מערכות שליטה ובקרה למערכות אוטונומיות משולבות (בסקטור התחבורה

237.....(החכמה)

237.....	יתרונות, אתגרים והמלצות.....	11.1
238.....	רקע.....	11.2
243.....	ניתוח שוק.....	11.3
245.....	תחום שליטה ובקרה במערכות אוטונומיות בישראל.....	11.4
246.....	תמיכה ממשלתית.....	11.5
247.....	תעשייה בישראל.....	11.6
248.....	מדדים ביבליומטריים.....	11.7
250.....	מענקי מחקר.....	11.8
250.....	יתרונות ישראל בתחום.....	11.9
252.....	נספחים.....	11.10
252.....	נספח א' - פירוט מענקי מחקר.....	11.11
253.....	מקורות.....	11.12

רשימת איורים וטבלאות

17	איור 1: הגידול במספר החברות בין השנים 2017 ל-2013 לפי סקטור
19	איור 2: השינוי במספר הפרסומים בתחום חקלאות מדייקת בישראל יחסית לעולם בשנים 2000-2019
20	איור 3: דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018
20	איור 4: גופי המימון המובילים במספר הפרסומים בעולם 2014-2018
21	איור 5: בקשות לפטנטים בתחום חקלאות מדייקת ב-USPTO
	איור 6: צריכת בשר ותחליפי בשר בשוק העולמי במילארדי דולרים, 2025-2040 וחלקם של בשר
39	'קונבנציונלי', תחליפי בשר חדשניים מהצומח ובשר מתורבת בצריכה באחוזים
39	איור 7: תחזית למחיר ממוצע לבשר מתורבת ובשר קונבנציונלי, 2015-2030
40	איור 8: גידול צפוי בשוק החרקים האכילים
42	איור 9: דרגת השינוי החברתי-מוסדי והטכנולוגי הנדרשת עבור מקורות מזון חדשים שונים
44	איור 10: גיוסי הון של חברות טכנולוגיה בתחום מקורות מזון אלטרנטיביים בישראל, \$M, 2015-2019
	איור 11: חברות בתחום הבשר המתורבת (בשר ממקור תאי) בעולם שהודיעו על גיוסי הון (עד שנת 2018)
44	לפי מדינות*
45	איור 12: משקיעים אסטרטגיים באקוסיסטם העולמי בתחום הבשר המתורבת (בשר ממקור תאי)*
47	איור 13: מספר הפרסומים בעולם בשנים 2000-2019
48	איור 14: 30 המדינות המובילות במספר הפרסומים בשנים 2014-2018
48	איור 15: פטנטים בתחום הבשר המתורבת (active ו-pending) בשנים 2009-2017
49	איור 16: גידול במספר חברות הבשר המתורבת בעולם בין השנים 2016 ל-2019*
59	איור 17: מספר החברות בתחום תקשורת לוויינים לפי שנת הקמה, 2000-2016
	איור 18: בקשות לפטנטים ב-USPTO של מגישים ישראלים בתחום תקשורת לוויינים 2011-2019, לפי שנת
60	הגשת הבקשה לפטנט
61	איור 19: מספר הפרסומים בעולם ובישראל, 2000-2018
62	איור 20: דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018
62	איור 21: תאור סכמטי של התפלגות הפרסומים בשנים 2014-2018 לפי אוניברסיטאות וחוקרים נבחרים
63	איור 22: גופי המימון המובילים לפי מספר המאמרים בעולם שמומנו בתקופה שבין 2014-2018
80	איור 23: העדפת המשקיעים בתחום החלל לפי ורטיקליים
83	איור 24: מספר הפרסומים בעולם בשנים 2000-2018
84	איור 25: המדינות המובילות במספר הפרסומים בשנים 2014-2018
	איור 26: מספר מקבלי התארים (ראשון, שני ושלישי) בהנדסה ביו-רפואית בישראל (שנה"ל תשס"ח-תשע"ו)
94	
96	איור 27: אחוז גיוס ההון לשנת 2018 בישראל לפי תחום העיסוק של החברה
99	איור 28: מספר בקשות לפטנט ב-USPTO, לפי שנת הגשת הבקשה על פי סיווג טכנולוגי A61
100	איור 29: עשרת המגישים המובילים לפטנט בשנים 2007-2017 ב-USPTO לפי סיווג טכנולוגי A61
	איור 30: מספר הבקשות לפטנט ב-USPTO לפי פילוח סקטוריאלי בשנים 2007-2017 לפי סיווג טכנולוגי
100	A61
	איור 31: מספר בקשות לפטנט ב-USPTO, לפי שנת הגשת הבקשה על פי תת סיווג טכנולוגי A61N, A61B
101	
101	איור 32: מספר הפרסומים המדעיים בתחום ההנדסה הביו-רפואית בישראל ובעולם 2000-2018
102	איור 33: דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים בתחום ההנדסה הביו-רפואית בשנים 2014-2018
102	איור 34: גופי המימון המובילים לפי מספר הפרסומים בתחום ההנדסה הביו-רפואית בשנים 2014-2018
	איור 35: תיאור סכמטי של התפלגות הפרסומים הישראלים בתחום ההנדסה הביו-רפואית לפי אוניברסיטאות
103	בשנים 2014-2018
104	איור 36: תיאור יצוא התרופות בשנים 2004-2019
104	איור 37: תיאור מגמת הירידה
130	איור 38: הגידול במספר החברות בשנים 2010-2019 לפי סקטור
132	איור 39: סך גיוס ההון (במיליוני \$) של חברות בישראל בתחום אגירת אנרגיה בשנים 2008-2019
135	איור 40: דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018
135	איור 41: השינוי במספר הפרסומים בתחום אגירת אנרגיה בישראל יחסית לעולם בשנים 2014-2018
136	איור 42: דירוג גופי המימון המובילים לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018

167	אירור 43: דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018
168	אירור 44: השינוי במספר הפרסומים בתחום שינוע בישראל יחסית לעולם בשנים 2000-2018
168	אירור 45: דירוג גופי המימון המובילים לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018
169	אירור 46: מספר בקשות לפטנטים ופטנטים רשומים בין השנים 2010-2019
191	אירור 47: השינוי במספר הפרסומים בתחום פטוניה אינטגרטיבית בישראל יחסית לעולם, 2000-2018
192	אירור 48: דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018
192	אירור 49: גופי המימון המובילים לפי מספר המאמרים שפורסמו בתחום פטוניה אינטגרטיבית
	אירור 50: התפלגות המאמרים של חוקרים מישראל בתחום פטוניה אינטגרטיבית, לפי אוניברסיטאות
193	2014-2018
194	אירור 51: מספר בקשות לפטנט ב-USPTO של מגישים ישראלים לפי שנת הגשת הבקשה
194	אירור 52: מספר פטנטים רשומים ב-USPTO של מגישים ישראלים לפי שנת אישור הפטנט
223	אירור 53: גודל החברות לפי מספר העובדים בחברה
223	אירור 54: חברות בתחום התלת מימד לפי Funding Stage (2018)
226	אירור 55: השינוי במספר הפרסומים בתחום חומרים מורכבים בישראל יחסית לעולם, 2000-2018
227	אירור 56: דירוג המדינות בתחום Advanced Materials לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018
227	אירור 57: גופי המימון המובילים לפי מספר המאמרים שפורסמו בתחום Advanced Materials
241	אירור 58: היררכיות בארכיטקטורת מערכות IoT
242	אירור 59: מי שולט ברכב? מעבר משליטת נהג לשליטה אוטונומית על ציר הזמן
243	אירור 60: שוק התוכנה לרכב ורכבים חשמליים/אלקטרוניים (Electric and Electrical) 2020-2030
	אירור 61: תחזית מכירת כלי רכב בעשור הקרוב באיחוד האירופי, ארה"ב וסין (כלי רכב ביחידות, רכבים אוטונומיים, חשמליים ומקושרים כאחוז מכלל המכירות)
244	אירור 62: שיקולים באימוץ רכבים מחוברים (connected), חשמליים, אוטונומיים ותחבורה שיתופית
245	אירור 63: חמישה אתגרים שמהווים חסמים טכנולוגיים להצלחתם של רכבים מקושרים ואוטונומיים
245	אירור 64: מבנה תעשיית הרכב והתחבורה החכמה בישראל
	אירור 65: מספר חברות טכנולוגיה ישראליות שעוסקות ב-remote monitoring, control systems או remote control לפי תחומים
248	אירור 66: מספר הפרסומים בעולם בשנים 2018-2000
249	אירור 67: 30 המדינות המובילות במספר הפרסומים בשנים 2014-2018
250	אירור 68: גופי המימון המובילים לפי מספר המאמרים בעולם שמומנו בתקופה שבין 2014-2018
251	אירור 69: פעילות חברות רכב בינלאומיות בישראל

21	טבלה 1: מענקי מחקר בתחום חקלאות מדייקת
36	טבלה 2: קטגוריות של מקורות חלבון חדשניים
37	טבלה 3: הסביבה התחרותית של מקורות מזון חדשים לפי McKinsey & Company
40	טבלה 4: גידול צפוי לפי סוגי חלבון
46	טבלה 5: חברות טכנולוגיה בתחומי מקורות מזון חדשים
50	טבלה 6: השוואת אתגרים והזדמנויות של מקורות מזון חדשים מסוגים שונים
55	טבלה 7: מאפייני סוגי מסלולי לווניים
60	טבלה 8: היקף גיוס ההון שבוצע בחברות בתחום התקשורת הלוויינית
61	טבלה 9: מגישים מובילים בהגשת בקשות לפטנט ב-USPTO בין השנים 2010-2018
65	טבלה 10: מענקי מחקר בתחומי תקשורת לווניים מקרנות נבחרות
98	טבלה 11: חממות טכנולוגיות בתחומים הרלוונטיים לביו-פארמה, הנדסה ביו-רפואית ו Health IT
99	טבלה 12: מענקי מחקר בתחומים רלוונטיים ל Bio-Convergence
132	טבלה 13: היקף גיוס ההון שבוצע בחברות בתחום אגירת אנרגיה
136	טבלה 14: מענקי מחקר בתחום אגירת אנרגיה
155	טבלה 15: שיטות לשינוע מימן
169	טבלה 16: מענקי מחקר בתחום שינוע אנרגיה
183	טבלה 17: מגמות מפתח במעגלים משולבים פוטוניים
193	טבלה 18: מענקי מחקר בתחום פטוניה אינטגרטיבית
194	טבלה 19: מגישי בקשות לפטנט בקשות לפטנט בתחום פטוניה סיליקון
204	טבלה 20: חומרים נפוצים להדפסת תלת מימד

206	טבלה 21: פולימרים תרמופלסטים המשמשים להדפסת תלת מימד ויישומיהם
207	טבלה 22: יישומי חומרים תרמופלסטיים להדפסת תלת מימד
209	טבלה 23: קרמיקה בשימוש בהדפסת תלת מימד
211	טבלה 24: מתכות בשימוש בהדפסת תלת מימד
213	טבלה 25: חומרים אחרים בשימוש בהדפסת תלת מימד
213	טבלה 26: ניתוח השוואתי בין חומרים להדפסת תלת מימד
218	טבלה 27: רשימת החברות בתחום חומרים מורכבים להדפסת תלת מימד בישראל
224	טבלה 28: רשימת גיוסי הון לחברות נבחרות
228	טבלה 29: מענקי מחקר בתחום חומרים מורכבים חכמים להדפסת תלת מימד
239	טבלה 30: התפתחות צפויה של מערכות IoT לפי Taivalsaari & Mikkonen, 2019
240	טבלה 31: אתגרים הצפויים ממעבר ממכונה ניידת אחת (כמו רכב, רחפן, כלי ימי וכו') לריבוי מכונות

הרשות לחדשנות שמה לה ליעד את קידום ההובלה של התעשייה הישראלית בטכנולוגיות עתידיות כיעד אסטרטגי. מדינות רבות משקיעות הון עתק באיתור תחומים אסטרטגיים וטרנדים טכנולוגיים, במטרה ליצור יתרון תחרותי טכנולוגי על פני מדינות אחרות, וליצור אימפקט כלכלי כפועל יוצא מכך. יש צורך לזהות מה הם גלי הטכנולוגיה העתידיים, על מנת שישראל לא תאבד יתרון תחרותי בתחומים אשר בהם יש צורך להשקיע ביצירת ידע ומומחיות בטכנולוגיות תשתיות מאפשרות, כדי לפתח טכנולוגיות יישומיות.

לקראת גיבוש אסטרטגיה ותוכניות כוללות בנושא זה, פנתה רשות החדשנות למוסד שמואל נאמן, בבקשה לביצוע מחקר מעמיק שבמסגרתו יבחנו 10 תתי טכנולוגיה עתידיים.

הרשות לחדשנות הגדירה קריטריונים ותנאי סף לתיעודף לצורך בחירת תתי טכנולוגיות שיסקרו במסגרת מחקר זה.

תנאי סף: קיים ידע אקדמי, יכולת של התעשייה לקלוט את הטכנולוגיה, והשקעה בסדר גודל מתאים.

קריטריונים: קיימת יכולת למימוש הפוטנציאל וצורך לאומי.

דו"ח זה כולל סקירה ומדדים על עשר תתי טכנולוגיות שנבחרו להיכלל במסגרת עבודה זו (תהליך בחירת הטכנולוגיה ופירוט המחקרים ראה בתת פרק מתודולוגיה).

הטכנולוגיות שנבחרו הן:

1. אגרוטק וחקלאות מדייקת (Precision Agriculture)
2. מקורות מזון אלטרנטיביים
3. תקשורת לוויינים
4. משאבי חלל
5. שילוב רב תחומי ביולוגיה, תוכנה והנדסה לעולם הרפואה (Bio - Convergence)
6. אגירת אנרגיה
7. שינוע אנרגיה
8. פוטוניקה אינטגרטיבית/סיליקון פוטוניקס – Integrated Photonics/Silicon Photonics
9. הדפסה תלת-ממדית של חומרים מתקדמים, טכנולוגיות ויישומים
10. מערכות שליטה ובקרה למערכות אוטונומיות משולבות

1.1 מתודולוגיה

תהליך בחירת הטכנולוגיות העתידיות למחקר זה, נעשתה במשותף על-ידי מוסד נאמן והרשות לחדשנות, על סמך עבודות קודמות שבוצעו במוסד נאמן לזיהוי טכנולוגיות עתידיות ועל סמך ידע שקיים ברשות לחדשנות. בהמשך מפורטות העבודות הקודמות שבוצעו במוסד נאמן וסייעו בביצוע עבודה זו.

בביצוע הסקירה לגבי כל אחת מתתי הטכנולוגיות נעשה שימוש במקורות גלויים, במאגרי מידע המצויים במוסד נאמן, בעבודות קודמות שבוצעו במוסד נאמן ובראיונות עם מספר מומחים.

תתי הפרקים על כל טכנולוגיה כללו: סקר ספרות - יישומים פוטנציאליים, מדינות מובילות, תחזיות טכנולוגיות וכלכליות של התחום ועוד; תמונת מצב בישראל - חברות מובילות, חוזקות בתעשייה, גודל השוק בישראל, השקעות, פטנטים ועוד; ידע באקדמיה, חוזקות באקדמיה, נתונים ביבליומטריים, חוקרים מובילים, תשתיות ישראל בהשוואה למדינות העולם ועוד; היתרון היחסי של ישראל בתחום, כשלי שוק ועוד.

טיוטה ראשונית של כל תתי טכנולוגיה, הועברה לקבלת משוב מרשות החדשנות ובמידה ונעשה קישור למומחה בתחום נערך עימו ראיון טלפוני.

על בסיס כל החומר שנאסף גובשו המלצות בכל אחד מתתי התחומים.

1.2 עבודות קודמות שבוצעו במוסד נאמן

במסגרת עבודה בנושא "תחזיות טכנולוגיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי" נסקרו מספר תחזיות טכנולוגיות שהתבצעו במדינות: קנדה, אנגליה, EU, רוסיה, פינלנד, גרמניה, יפן ו-OECD תחזיות טכנולוגיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי - דו"ח סופי לשנה א':

https://www.neaman.org.il/Files/Technological%20forecasting%20for%20scientific%20and%20technological%20human%20resources_20190303122651.593.pdf

בנוסף לסקירת התחזיות הטכנולוגיות של מדינות, התמקדנו במחקר של ה-OECD* שריכז תחזיות טכנולוגיות של שש מדינות: קנדה, אנגליה, EU, פינלנד, גרמניה ורוסיה. במחקר זה זוהו 70 טכנולוגיות בארבעה נושאים (Energy and Environment, Digital technologies, Advanced materials, Biotechnologies). טכנולוגיות אלו מוגדרות כ"טכנולוגיות מפציעות" (emerging technologies), הצפויות להתפתח ב-10-15 השנים הקרובות.

שתי עבודות נוספות שמוסד נאמן ביצע בנושא כוללות סקירת ספרות בנושא תחזיות טכנולוגיות וביצוע תחזית טכנולוגית לארבעה נושאים: אגרוטק, פוטוניקה, רפואה מותאמת אישית והדפסת תלת מימד.

- תחזיות טכנולוגיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי דו"ח סופי לשנה א' בנושאי אגרוטק ופוטוניקה:

https://www.neaman.org.il/Files/Technological%20forecasting%20for%20scientific%20and%20technological%20human%20resources_20190303122651.593.pdf

- תחזיות טכנולוגיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי דו"חות לשנה ב' בנושא רפואה מותאמת אישית והדפסת תלת מימד

OECD (2016). OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016. Paris.

https://doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2016-6-en

https://read.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oecd-science-technology-and-innovation-outlook-2016_sti_in_outlook-2016-en#page1

מקור מרכזי נוסף שהועבר לרשות החדשנות כבסיס לגיבוש הרשימה הראשונית של תתי הטכנולוגיות למחקר, היה פרסום של Future today Institute משנת 2019:

2019 Tech Trends Report. 12th Annual Edition. Future Today Institute. Retrieved from

<https://futuretodayinstitute.com/2019-tech-trends/>

2 אגרוטק וחקלאות מדייקת (Precision Agriculture)

2.1 אגרוטק וחקלאות מדייקת - רקע

תעשיית האגרוטק עוסקת בטכנולוגיות, מוצרים ופתרונות לתחומים שונים בשרשרת היצור החקלאי. סקטור טכנולוגיות החקלאות והמזון – אגרוטק, הוא אחד מפלחי השוק הגדולים והחשובים בכלכלה העולמית ומייצר כ-8.5% מהתוצר המקומי הגולמי בעולם (AgFunder, 2015). תתי התחומים הנכללים בשוק האגרוטק הם רבים ומגוונים וכוללים:

- **הגנת הצומח** - מחקר, פיתוח וייצור פתרונות להגנת הצומח בפני מזיקים.
- **השקיה ומים** - מחקר פיתוח וייצור מערכות השקיה, רכיבי השקיה וטיהור מים.
- **זרעים** - מחקר ופיתוח זנים חדשים באמצעות טיפוח והנדסה גנטית.
- **משק חי** - מחקר ופיתוח טכנולוגיות ופתרונות לניהול משק החי ולשיפור תוצריו.
- **חקלאות מים** - מחקר ופיתוח טכנולוגיות, פתרונות ושיטות גידול במים ובמים מליחים.
- **אגרו ICT (חקלאות מדייקת)** - פיתוח פתרונות וטכנולוגיות אופטימיזציה בשיטות הטיפול וצריכת המשאבים. כולל בתוכו חברות המפתחות ומייצרות מערכות אוטומטיזציה וניהול ושליטה מרחוק של תשומות ותפוקות חקלאיות
- **Post-harvest** - מחקר ופיתוח של פתרונות וטכנולוגיות לטיפול, שימור ואריזת תוצרת חקלאית
- **מזון** - חברות המייצרות, מעבדות ומפתחות מזון
- **דישון** - מחקר, פיתוח וייצור בתחום הדשנים
- **מיכון חקלאי** - מחקר, פיתוח וייצור מיכון חקלאי

חקלאות מדייקת הינה תחום רחב, המוגדר כסט של טכנולוגיות המשלבות חיישנים, טכנולוגיות מידע,

שיפורים מכניים, וניהול מונחה-ידע למיקסום יבולים ע"י התחשבות בשונות המובנית של סביבות חקלאיות (Gebbers, 2010). טכנולוגיות אלו מוצעות כיום לרוב סוגי הגידולים – מגידולי שורות למיניהם ועד למטעים, ומאפשרות גמישות בהפניית משאבים כגון מים ודשן למקומות הדרושים להם, במידה הדרושה להם, ובזמן הנכון להם (variable rate approach). בכך טכנולוגיות אלו מגדילות את יעילות הניצול של מים ודשן בשדה, מגדילות את רווחיות החקלאים ומקטינות שטפי מזהמים לסביבה כגון חנקות (NO_3) או חמצן-דו-חנקני (N_2O).

ישנם לפחות שני גורמים אשר צפויים להיות קטרי צמיחה בשימוש בכלים של חקלאות מדייקת בעתיד – הגדלת הרווחיות לחקלאי והקטנת ההשפעה הסביבתית.

לחקלאות מדייקת יש ניסיון מוכח הנתמך במחקרים רבים, **בהגדלת היבול והרווח לחקלאי**. למשל, שימוש

במערכות קבלת החלטות לניהול משטר הדישון באזורים שונים בעולם מאפשר להגדיל את רווחי החקלאים. מנוף שני להטמעה של טכנולוגיות חקלאות מדייקת הינו היכולת של טכנולוגיות חקלאות מדייקת **להקטין זליגת מזהמים שונים ממקורות חקלאיים לסביבה**. חקלאים מבינים כיום כי הנושא הסביבתי אינו ניתן להפרדה מתפעול אופטימלי של השדה. מדינות רבות עיגנו תקנות בנושא השימוש בנוטריינטים בחקלאות (עם דגש על חנקן וזרחן) ושמות דגש על ניטור מוקפד של איכות מקורות מים. בנוסף, חברות ענק בתחום קמעונות המזון מקצות משאבים רבים להקטנת טביעת הרגל הסביבתית שלהן, והתחייבו בפומבי להגדיל את הקיימות לאורך שרשרת הייצור שלהן. מגמה זו תלך ותגדל בעתיד כאשר חברות קמעונות נוספות יצטרפו ויבינו את הערך המוסף במיתוג והבלטת פעולות מקיימות (sustainability) בחברה וימשיכו להיות מנוף לצמיחה עתידית של טכנולוגיות חקלאות מדייקת בעולם.

חקלאות מדייקת הינה תחום רחב. להלן נרחיב לגבי חמש מגמות בחקלאות מדייקת בתחום הצומח, אשר בהן ניתן להרוויח משילוב הידע המצטבר של ישראל כמעצמת היי-טק ומערכות מידע עם החדשנות החקלאית הרווחת בארץ ושהצפי בהן הוא להתפתחות משמעותית בשנים הקרובות:

2.1.1 big data ואינטגרציה בין חיישנים וטכנולוגיות שונות לניטור מצב השדה

אחד היישומים הנפוצים של חקלאות מדייקת הינו יצירת בסיסי נתונים מרחביים עתירי ידע, על ידי חיבור בין תצפיות ופעולות חקלאיות (קציר, דישון, בקרת מזיקים) לאמצעי מיקום מבוססי לווייניים (GPS). החקלאות המודרנית הפכה לזירה שבה החקלאי מוצף במידע מרחבי המגיע ממבחר מקורות, למשל: חיישני רטיבות קרקע המותקנים במקומות שונים בשדה; בדיקות מעבדה לקביעת זמינות נוטריינטים (חנקן למשל) מדוגמאות קרקע ברחבי השדה; מפות מפורטות של נתונים הנוגעים למצב השדה כגון עקות שונות בצמח (טמפרטורה, זמינות מים או נוטריינטים), המגיעים ממקורות של חישה מרחוק; מפות מפורשות במרחב של יבול בכל חלקי השדה המופקות מבקרים המותקנים על גבי קומביין הקציר, ועוד. החקלאי מקבל לידיו את כל שכבות המידע האלו וצריך לתרגם אותן להחלטות- כמויות השקיה ודישון, הדברת מזיקים ועוד. לעושר נתונים זה פוטנציאל גדול, אך הניהול של המידע הרב וההפקה של ידע שימושי ממנו, המגדיל את תנובות היבול, הפך להיות אחד האתגרים של החקלאי המודרני. חקלאים רבים נתקלים בקשיים טכנולוגיים המרתיעים אותם מניצול מיטבי של המידע שברשותם.

קיים צורך בפיתוח מערכות תומכות החלטה המתחשבות בשלל מקורות המידע הזמינים לחקלאי, כולל נתונים ארוכי טווח, והפקת המלצות שימושיות לחקלאי בצמתי החלטה שונים במהלך העונה.

2.1.2 שימוש בכלי חישה מרחוק ומקרוב בחקלאות מדייקת, בדגש על זיהוי מחלות צמחים

חקלאות מדייקת עושה שימוש תדיר בתוצרי חישה מרחוק ומקרוב. שימוש זה גדל משנה לשנה וצפוי להמשיך לגדול בשנים הקרובות. לכלים אלו פוטנציאל רב בניטור מצב השדה, מתוך ההנחה שחסרים שונים ניתנים לזיהוי באמצעות חתימות ספקטרליות ייחודיות. מחקרים רבים הוקדשו למציאת סימנים של תכונות פיזיולוגיות של הצומח באמצעות ניתוח החזרים ספקטראליים בארוכי גל שונים (Thenkabail, 2000; Haboudane, 2002).

לאחר מציאת חתימות אלו ניתן להשתמש בהן לניטור רציף ובאופן שיטתי של מצב השדה. בין התחומים שקיבלו את מרב תשומת הלב המחקרית, ושעברו משימוש בידי חוקרים לשימוש נפוץ יותר באמצעות חברות מסחריות, הוא זיהוי יצרנות ויבול השדה. יצרנות ובריאות גידולים שונים קשורה קשר הדוק לאינדקס שטח העלה (LAI) (Leaf Area Index) ופותרו כלים בחישה ספקטרלית והיפר ספקטרלית לחיזוי פרמטר זה (Liang, 2015). תחום נוסף שעושה שימוש תדיר בחישה מרחוק, הינו זיהוי עקות שונות כגון מחסור בחנקן או מים. מחסור בנוטריינטים כגון חנקן מתבטא בתכולת הכלורופיל בעלה, שאותה ניתן לזהות באמצעות חישה היפרספקטרלית (Devadas, 2015) או באמצעי חישה תרמיים (Elarab, 2015). באמצעות כלים אלו ניתן להתאים את מנות הדשן לרמת החסרים בפועל לכל רחבי השדה, להקטין זליגת נוטריינטים לסביבה ולהגדיל את רווחיות החקלאי. **היעילות הכלכלית והסביבתית המוכחת של כלי חישה מרחוק לניטור מצב השדה צפויה להגדיל את הדרישה לשימוש בכלים אלו בעתיד.**

שימוש נוסף בחישה מרחוק בחקלאות שיש לו פוטנציאל לגדול בשנים הקרובות הינו השימוש בכלים אלו לניטור מחלות ומזיקים בצמחים. חשיפת צמחים לפאתוגנים שונים מתבטאת במנגנוני הגנה מורכבים. תגובות אפשריות של הצמח הן למשל ירידה בקצב הפוטוסינתזה ובתכולת הכלורופיל בעלה, אשר לרוב אינם ניתנים לזיהוי מוקדם בעין אך ניתנים לזיהוי באמצעים מולטיספקטראליים (Polischuk, 1997). האפשרות לזיהוי מוקדם של מחלות בשדה ומתן תגובה מהירה הינה חשובה ביותר, ולכן קיימת היתכנות שחישה מרחוק תהפוך לכלי יעיל לניטור מחלות בשדה. עם זאת, עושר הנתונים המתקבל בחישה מרחוק מציב אתגר בזיהוי המידע הרלוונטי, בייחוד בעבודה עם תוצרי חישה היפר או מולטי-ספקטראליים. לצורך כך נעשה שימוש בכלי עיבוד נתונים מורכבים כגון אלגוריתמים של כריית מידע (data mining), או למידת מכונה (machine learning) שהוכחו כיעילים בזיהוי של מחלות צמחים בשלבים שונים (Martinelli, 2014). **העלייה בזמינות תוצרי החישה מרחוק, השיפור ברזולוציה המרחבית עקב שימוש מוגבר במצלמות למיפוי השדה, והעלייה בכוח המחשוב הזמין (שיכול להיות ברובו מבוסס טכנולוגיית ענן), יוצרות פוטנציאל גדול להפוך זיהוי מחלות צומח בחישה מרחוק לזמין הרבה יותר.**

2.1.3 פיתוח כלי סימולציה לניטור רציף של קרקע, צומח, מים ודשן

לשימוש בחיישנים כאמצעי תצפית על מצב השדה יתרונות רבים, אך חסרונם המרכזי הוא בכך שהם משמשים לתיאור מצב זמני, נקודתי על ציר הזמן, של מצב השדה. חקלאים מעטים יכולים לספוג את העלות של שימוש תדיר ורציף בטכנולוגיות אלו במשך העונה, בייחוד אם הדבר כולל שימוש במזל"טים או שימוש בהדמיות לוויין ברזולוציה מרחבית גבוהה. ישנם מודלים פיזיקליים המתארים את גדילת הצמח בהתאם לתנאים המקומיים של השדה כגון גשם, אידוי פוטנציאלי, סוג הקרקע וכו'. למודלים אלו אפשרות לספק לחקלאי תמונת מצב רציפה של מצב השדה מבחינת זמינות הנוטריינטים או תכולת הרטיבות בקרקע. בנוסף הם יכולים להתחבר לממשקים קיימים של בסיסי נתונים מבוססי מ"ג (GIS) כגון תכנות קרקע או טופוגרפיה ובכך לייעל את אפיון השדה. כך החקלאי יכול לקבל המלצות דישון או השקיה ייעודיות ברזולוציה מרחבית גבוהה. דוגמא לשירות כזה הינו המודל Adapt-N (Sela, NA) (Melkonian, 2008) שפותח באוניברסיטת קורנל. מודל זה עבר אימות אינטנסיבי במשך 5 שנים בשדה, ולאחרונה עבר מסחור ומוצע כעת כשירות בתשלום למגדלי תירס ברחבי ארה"ב. הכלי הינו שילוב של שלושה מודלים – הידרולוגיה, צומח וקרקע – ומאפשר לתת לחקלאי תמונה רציפה של חוסרי החנקן והמים בשדה, קליטת החנקן בצמח ואיבודי חנקן לסביבה כחנקות למי תהום או בפאזה גזית לאטמוספירה. המודל מחובר בזמן אמת לנתוני אקלים ברזולוציה גבוהה, ונותן לחקלאי המלצות יומיות על כמויות הדשן שיש לתת על מנת להגיע ליבול אופטימלי. המודל עושה שימוש בטכנולוגיית ענן והינו מבוסס רשת, כך שהחקלאים יכולים לקבל את כל המידע על השדה שלהם ישירות לטלפון החכם או למחשב הנייד, בכל עת. **תחום שירות מבוסס מודלים זה גדל במהירות בשנים האחרונות. שתי חברות ענק, מונסנטו ודופונט-פינור, מציעות כל אחת מודלים משלה למטרה זו. התחום צפוי להמשיך לגדול בשנים הקרובות ולהציע מענה רחב לניהול השדה, תוך התמקדות בצרכים הייחודיים של גידולים זנים שונים, באזורים שונים בעולם.**

2.1.4 השקיה מדייקת

התמודדות עם מחירי מים עולים, שינויי אקלים, ובעיות סביבתיות הנובעות משאיבת יתר של מי תהום הם חלק מהסיבות להגדלת יעילות ניצול המים בחקלאות. בישראל מוכרת היטב השקיה בטפטוף, שמאפשרת ניצול מים מרבי. אך העלות הגדולה יחסית של הטמעת מערכות טפטוף לעומת שיטות מסורתיות של השקיה בהצפה פני השטח מקשה על אימוץ שיטות אלו. כפועל יוצא, רק אחוזים ספורים משטח העולמי המשמש לחקלאות מושקה בטפטוף, בעיקר בגידולי מטעים (Jensen, 2014). שיטות ההשקיה הנפוצות הן על ידי מכונות השקיה (קו-נועים קווים ומעגליים) (McCarthy, 2011), והשקיה על ידי הצפת השוחות. לחצים סביבתיים ומחסור במים זמינים להשקיה בעתיד, צפויים להפנות תשומת לב להגדלת יעילות ניצול המים של שיטות אלו, אתגר שניתן לתת לו מענה במסגרת של חקלאות מדייקת. לדוגמא: מערכות קו-נוע מאפשרות להשקות במנות השקיה משתנות לאורך הקו (Variable rate approach). קיימות מספר שיטות שבאמצעותן ניתן לדייק את כמות המים המושקית ע"י המערכת בהתאם לצרכים בשדה, כגון חיישני אינפרה-אדום המותקנים על הקו, המודדים את טמפרטורת חופת הצומח אשר קשורה לעקת המים בצומח, ומעדכנים בהתאם את מרשם ההשקיה בזמן. סוג נוסף של חיישנים הוא חיישני תכולת רטיבות אלחוטיים. חיבור מערך של חיישנים כאלו לקו-נוע מאפשר לדייק תוך כדי תנועה את כמות המים הדרושה בכל אזור בשדה (Dong, 2013). היתרון במערכות כאלו להגדלת ניצולת המים ברור, אך השימוש במערכות כאלו צפוי לגדול בעתיד אך ורק אם השימוש בהם יהיה פשוט מבחינת החקלאי. במחקרים (McCarthy, 2011). יש צורך ביצירת פתרונות לחקלאים שיהפכו את העבודה עם מערכות ההשקיה לפשוטה יותר, כולל יצירת מרשמי השקיה מדויקים ודינאמיים ממערך של חיישנים שונים. עבודה עם מערכות כאלו מציבה אתגרים רבים, אך השימוש הנפוץ בהן מציב פוטנציאל רב לפיתוח מערכות אוטומציה המייעלות אותן.

2.1.5 יישומי רובוטיקה בחקלאות

שימוש ברובוטים בחקלאות אשר יפעלו על פי תכנית סדורה, יסיירו בין השורות ויכולו לבצע פעולות אשר דורשות כיום שעות עבודה רבות, כמו זריעה מדויקת (Haibo, 2015) או קטיף (Bac, 2014). כלים כאלו כבר קיימים ומוצעים לשימוש מסחרי ובאפשרותם לחסוך שעות עבודה המוקדשות להכשרת עובדים ובעיות של תחלופה גבוהה של כוח אדם. בין הגורמים הצפויים לתמוך בעלייה בשימוש בכלים אלו:

א. קימת מגמה עולמית של עליה בגודל החוות. ארה"ב למשל, בעיצומו של שינוי מבני בענף החקלאות בו חוות בגודל בינוני וקטן נרכשות על ידי חוות גדולות יותר, כאשר הגודל הממוצע של חווה הוכפל ב-25 שנה האחרונות, וחצי מהחוות הינן כעת בשטח הגדול מ-450 הקטר (MacDonald, 2013). לכלי חקלאות מדייקת יתרון גדול בניטור שטחים רחבים, וחוות גדולות יכולות לרוב לעמוד בהוצאות ההתחלתיות והשוטפות של שימוש בכלים אלו. לכן, שינוי מבני מתמשך זה יתרום להגדלה בהטמעת טכנולוגיות חקלאות מדייקת כגון רובוטים לחקלאות.

ב. עלייה ביכולות עיבוד התמונה, והשימוש שלה בחקלאות. שיטות עיבוד תמונה שונות משמשות בהצלחה להפרדה בזמן אמת בין הגידול לעשבים שונים (Zhang, 2012), או לזיהוי מחלות צמחים (Camargo, 2009). יתכן וייקח זמן להגיע לכך, אך בעתיד יתכנו מערכות אוטונומיות המשלבות כלים קרקעיים ואוויריים, אשר מותקן עליהם מערך חיישנים כולל לניטור עקות מים, נוטריינטים ומחלות. מערכות אלו יוכלו לבצע בנוסף פעולות בסיסיות כמו ריסוס נקודתי של עשבים (טכנולוגיה הקיימת כבר בשימוש מסחרי), מתן דשן ברמה הנאותה לכל מקום, ויספקו מיפוי כולל של מצב השדה בזמן אמת ישירות לחקלאי.

חזון זה כולל אתגרים רבים, החל מאינטגרציה בין חיישנים, פיתוח כלי עיבוד התמונה או חישה מרחוק ועד לבעיות של התקדמות ועבירות הכלים בשדה (Papadakis, 2013), יש כיום הזדמנות לפיתוח הטכנולוגיה שתביא אותנו לשם בעתיד.

2.2 אגרוטק בישראל

בישראל התפתחו תשתיות לחקלאות במשך שנים של התמודדות עם אתגרים מקומיים הכוללים מחסור במשאבי קרקע ומים ומזג אויר צחיח בחלק מאזורי המדינה. עם השנים, כתוצאה מפיתוח לחקלאות המקומית, פותחה תעשיית מערכות השקיה, טפטפות, בקרי השקיה ממוחשבים ועוד, פיתוחים שאפשרו הקמת מספר ניכר של מפעלי תעשייה ויצוא משמעותי. חלק ממפעלים אלו פועל כיום בשיתוף עם חברות ענק בהודו ובסין.

היתרונות היחסיים של התעשייה החקלאית בישראל כוללים: חקלאות מבוססת ומתקדמת טכנולוגית, אקלים מגוון (ארבעה אזורי אקלים שונים), מיתוג בינ"ל חזק של הובלה בתחום המים, אקדמיה מפותחת ומתקדמת (בתחומים משיקים), סביבה עסקית מוכוונת יזמות ואקו-סיסטם תעשייתי תומך (תעשיות ביטחוניות, היי טק). יתרונות נוספים של ישראל בתחום:

- ישראל ניסיון רב שנים בהתמודדות עם מחסור במשאבים וישנן טכנולוגיות חדשניות שהתפתחו כתוצאה מכך, אם לפתרון בעיות המים בחקלאות (ניהול נכון של משק המים, יעילות, מחזור לחקלאות), שימוש באנרגיות מתחדשות ועוד.
- ישראל כמות פטנטים גדולה מאוד בתחום Biological enhancement וכן בנושא הגנה על הצומח.
- יש בישראל יתרון בשילוב של כוחות מתחומים ורקעים שונים כגון: IT, הנדסה, חקלאות ועוד.
- לישראל יתרון יחסי במפגש בין חקלאות ישראלית ממותגת חיובית, היי טק ממותג היטב ומפותח ואף מתווספים היתרונות של תעשיות ביטחוניות מצליחות.

הידע והחדשנות החקלאית בישראל ניזונים בעיקרם מפיתוחים מחקריים באקדמיה ובמכוני המחקר החקלאיים, הכוללים את מכון וולקני המשוך למשרד החקלאות ופיתוח הכפר, ושמונה מרכזי מו"פ אזוריים. עם זאת, נראה כי מעבר הידע מתחום המחקר לכדי יישום מסחרי לוקה בחסר, ובשל סיבות שונות לא תמיד מגיע לכדי מימוש.

2.2.1 תמיכה ממשלתית בתחום

הגופים העיקריים המעניקים תמריצים כלכליים לחברות בתחום האגרוטק הם רשות החדשנות ומשרד החקלאות. תוכניות רשות החדשנות הרלוונטיות לחברות בתחום (בהתאם לשלב בו הן נמצאות וגורמים נוספים) הן: קרן המו"פ, תכנית מו"פ עסקי בחקלאות (בשיתוף משרד החקלאות), תכנית החממות הטכנולוגיות, תוכניות מגנ"ט (נופר, קמין, מגנטון, מאגדים).

משרד החקלאות מעניק סיוע לחברות בתחום האגרוטק באמצעות הקמת מוקדי ידע כחלק מיישום המלצות הועדה הבין-משרדית למינוף המו"פ החקלאי משנת 2012¹. בנוסף מפעיל משרד החקלאות את תכנית 'ניצן' למימון מחקרים יישומיים בתחומי החקלאות ואת תכנית 'ניצן מורחב' (תיבת נוח) למימון מחקרים יישומיים בתחומי החקלאות התומכים בתעשיית המזון.

בינואר 2019 פורסם נוהל למיכון וטכנולוגיות חדשות, חקלאות מדייקת ומיכון חוסך כוח אדם לשנת 2019. בנוהל נאמר: משרד החקלאות ופיתוח הכפר ומשרד האוצר רואים חשיבות רבה בקידומה של חקלאות העושה שימוש בטכנולוגיות חדשניות (חקלאות), Tech-Hi, המשלבת בין היתר שימוש בכלים מתחום "החקלאות המדייקת" בעבודת החקלאי השוטפת. מטרות אלו הן חלק אינטגרלי מתוכנית "הדור הבא לחקלאות" המקודמת ע"י הממשלה, ושבמסגרתה נחתם ביום 11/9/2/11 הסכם בין משרדי האוצר והחקלאות המייעדת תקציב בגובה 54 מיליון ש"ח, לצורך מימון השקעות ב"מיכון חדשני, טכנולוגיה חדשה, ומיכון חוסך כח אדם." חקלאות מדייקת מוגדרת בנוהל חקלאות מדייקת" כשירותי מידע הכוללים צילומי לוויין מפוענחים, צילומי רחפנים מפוענחים או חישנים משדרים המשמשים לבקרת השקיה, דישון, ריסוס וצימוח.

ב-2014 וב-2019 פורסמו קולות קוראים מטעם המדען הראשי במשרד החקלאות, למחקרים בחקלאות מדייקת. גופים נוספים המסיעים לחברות בתחום האגרוטק הם התכנית לקידום טכנולוגיות מים ואנרגיה מתחדשת (Israel NewTech) ומכון הייצוא.

2.2.2 רשות החדשנות

מאגד פנומיקס מתמקד בחקלאות מדייקת, קרי, פיתוח טכנולוגיות גנריות למדידת מאפיינים נצפים (פנוטיפ) של גידולים חקלאיים במטרה לייעל את הפעילות החקלאית. במאגד חברות 4 מוסדות מחקר-אוניברסיטת בן גוריון, אוניברסיטת חיפה, הטכניון ומכון וולקני, ו-6 חברות טכנולוגיות: אלביט, אופגל וסנסיליז, וחברות האגרוטק הזרע, תרבויות ראש הנקרה (רה"ן) ואבוג'ן.

מאגד פנומיקס צפוי להתמקד בפיתוח טכנולוגיות גנריות למדידת מאפיינים נצפים (פנוטיפ) של גידולים חקלאיים, באמצעות שימוש בטכנולוגיות מחשוב וחישה מרחוק. המאגד מפגיש בין חברות טכנולוגיה בולטות בתחום החקלאות והאגרוטק לבין מוסדות מחקר אקדמיים מובילים אשר מייצגים אספקטים שונים של הדיסציפלינה, נוסף על תרומת פנוטיפינג בהיקפים גדולים. מדידת המאפיינים הנצפים (פנוטיפ) של הגידולים החקלאיים תתבצע באמצעות מערכת איסוף נתונים (רבת חישנים) שתוכל לנוע במרחב החקלאי (חממה, שדה או מטע), ולאסוף הדמאות רבות וכלי אנליזה לניתוח ולאפיון המידע הוויזואלי. לדוגמא: גובה הגבעול, תקינות עלים (צורה, צבע, טקסטורה), תכולת מים וכלורופיל; ופרמטרים ספציפיים לזיהוי מוקדם של מחלות או מזיקים. כלי האנליזה יאפשרו לקשור בית תכונות ויזואליות שונות ולעבות את הידע לייעול הפעילות החקלאית. הממצאים יסייעו לחקלאים לקבל תמונת מצב מדויקת לגבי התפתחות גידוליהם ולהגיב בהתאם. זאת, לעומת הערכות גסות או חלקיות שנעשות כיום, שלעיתים אף מגיעות מאוחר מדי לגבי בעיות כגון השקיה דישון או מזיקים. תועלת נוספת היא במתן הערכות של היבולים הצפויים (כמויות ואיכויות) בשלב מוקדם של הגידול. היתרון היחסי של המאגד הנוכחי טמון בשילוב הייחודי בין חברות אגרו מתקדמות ומובילות בתחומן כמו אבוג'ן והזרע, עם חברות טכנולוגיה שפיתחו אמצעי חישה לשימושים אחרים כמו אלביט ונדרשות בעיקר לעשות התאמות לשוק החקלאי. ממשק מסוג זה הוא לא מובן מאליו וייתכן שאף ייחודי בעולם. החדשנות העיקרית היא יישומית בפיתוח אבני בניין גנריות שיאפשרו בניית כלים מתקדמים לאפיון פנוטיפים לחקלאות בצורה מקוונת. המאגד בוחן טכנולוגיות שונות שקשורות להיבטים השונים של התחום: אמצעי חישה, data mining, machine learning, annotation techniques ועוד בכדי למצוא מענים אופטימליים לפלחי שוק שונים.

2.2.3 משקיעים

עם העלייה במספר החברות חלה באופן טבעי גם עלייה בהיקף הפעילות. הימצאותם של מספר הולך וגדל של גופי מימון הון סיכון וחממות טכנולוגיות המתמחים ומתמקדים בתחום האגרוטק, מהווה אינדיקציה נוספת למגמה זו. יתרה מכך, היקף הפעילות של חברות רב-לאומיות וקרנות בינלאומיות בתחומי החקלאות בישראל

¹ <http://www.pmo.gov.il/Secretary/sederyom/Documents/915B.pdf>

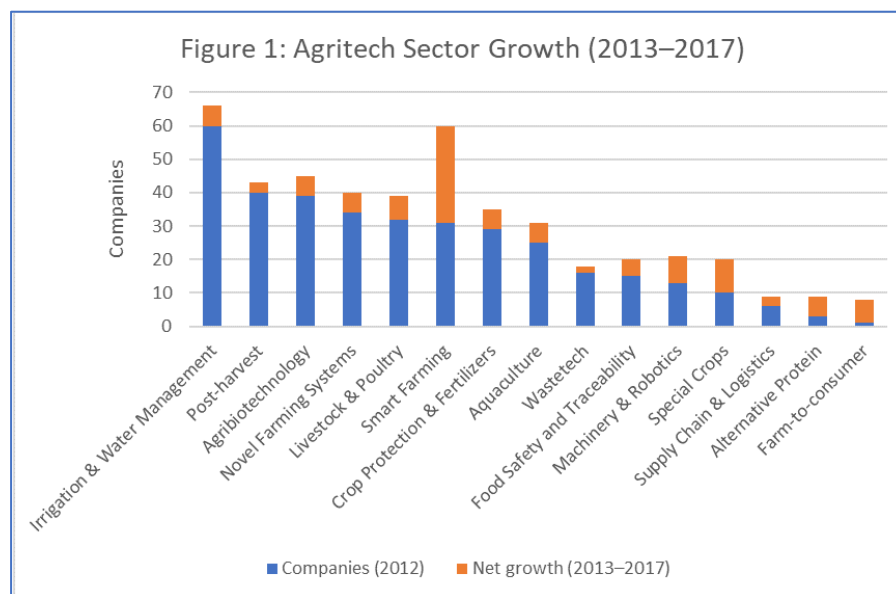
נמצא בעליה, דבר הבא לידי ביטוי בקיומם של מרכזי פיתוח מקומיים, בביצוע השקעות ובעסקאות מיזוג ורכישה של חברות ישראליות. כל אלו מצביעים על כך שבישראל ישנה "מסה הקריטית" של ידע, יכולת והניסיון הדרושים להתפתחותה של סביבה יזמית פורייה בתחום האגרוטק.

בארבע השנים האחרונות משכו החברות הישראליות בתחום האגרוטק, מימון מכ-120 משקיעים שונים, חצי מהם ישראלים וחצי מהם זרים. מעל לשלושה רבעים מהמשקיעים הם קרנות הון סיכון ואינקובטורים.

2.2.4 תעשייה

בשנת 2017 פעלו בישראל 460 חברות בתחום האגרוטק. התחום שבו חל הגידול הרב ביותר במספר החברות החדשות בשנים 2013-2017 הוא Smart Farming. 29 חברות חדשות נפתחו בתחום זה ב-5 השנים האחרונות, נתון המהווה 94% גידול לעומת תחילת התקופה. האיור הבא מדגים את הגידול במספר החברות בין השנים 2013 ל-2017 לפי סקטור.

איור 1: הגידול במספר החברות בין השנים 2013 ל-2017 לפי סקטור



מקור: עיבוד מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

באוקטובר 2019 פעלו בישראל 92 חברות שתיוגו במאגר ה-Startup Nation Central Finder בתגית **Precision Agriculture**. 96% (88 מהחברות) עוסקות בתחום Agro and Food Technologies. שתי חברות עוסקות ב-Industrial Technologies, חברה אחת ב-Security and Safety Technologies וחברה אחת ב-Cleantech.

86% (79 חברות) הוקמו בשנים 2011-2019. שלוש מהחברות האלה מעסיקות מעל ל-500 עובדים: חיפה כימיקלים, אירונאוטיקס ונטפים. שלושתן חברות שנוסדו בשנות ה-90.

רוב החברות (81) הן חברות קטנות המעסיקות עד 50 עובדים. 8 חברות מעסיקות 200-50 עובדים

68% (63 חברות) נמצאות בשלב Released של מוצר ו-14% (13 חברות) נמצאות בשלב הפיתוח R&D של המוצר.

52% (48 חברות) נמצאות בשלב ה-Bootstrapped, Pre-seed או Seed. 20% (19 חברות) נמצאות בסבבי מימון A או B ו-21% (19 חברות) נמצאות בשלב Revenue Financed.

דוגמאות לחברות בתחום החקלאות המדייקת בישראל:

- **Taranis**²: המלצות להדברה והגנת הצומח באמצעות מטאורולוגיה ותמונות לוויין ברזולוציות גבוהות לקבלת מידע מקומי ומדויק. בחברה זו יש שילוב של אנשי תקשורת שאינם חקלאים עם אגרונומיים. במקרה הזה השילוב מוצלח, אבל זה לא תמיד כך בכל החברות.
- **Manna Irrigation**³: חברה בת של **Rivulis**⁴, מערכות המלצה להשקיה לחקלאים בהתבסס על לוויינים ומדידות קרקע.
- **Phytech**⁵: חיישנים לחממות וגידולים אחרים בהתבסס על פלטפורמות לוויינים בשילוב חיישנים קבועים מראש על הקרקע להמלצה על פעילות כמו השקיה ודישון. החידוש הוא לא במערכו הנדסיות ומכניות, אלא אינטגרציה של מערכות לקבלת החלטות.
- **Farm Dog**⁶: איסוף מידע אינטנסיבי בבתי צמיחה ובשדה, על מנת לעזור לחקלאים לקבל החלטות בהתבסס על מידע מלוויינים וחיישנים מפוזרים.

2.2.5 אקדמיה ומכוני מחקר

פעילות מחקרית:

לפי בקרמן וממו (2012) בשש מהאוניברסיטאות בארץ מתקיים מחקר הקשור לתחומי החקלאות: האוניברסיטה העברית, מכון ויצמן, אוניברסיטת תל אביב, אוניברסיטת בר אילן, הטכניון ואוניברסיטת בן גוריון. הפקולטה לחקלאות ברחובות של האוניברסיטה העברית יש קרוב ל 90 חוקרים וחברי סגל. בשאר האוניברסיטאות ישנם חברי סגל בודדים במחלקות השונות לביולוגיה/כימיה/הנדסה וכו' אשר עוסקים במחקר חקלאי. לפי אסיף (2016), הפקולטה לחקלאות של האוניברסיטה העברית היא המובילה בארץ במחקר חקלאי, אך מחקרים פורצי דרך בתחומי הגנת הצמח והמזון נעשים גם באוניברסיטת תל אביב, אוניברסיטת בן גוריון ומכון ויצמן. הפקולטה להנדסה חקלאית שהייתה קיימת בטכניון נסגרה בשנת 2002 כאשר אוחדה עם הפקולטה להנדסה אזרחית.

מכון המחקר המשמעותי ביותר בתחום החקלאות הוא מינהל המחקר החקלאי במשרד החקלאות- מכון וולקני. מכון זה הוא המוסד הגדול ביותר בישראל העוסק במחקר חקלאי ונמנה עם הידועים מסוגו בעולם. תפקידיו העיקריים הם לסייע לחקלאי ישראל בפתרון בעיות שונות, לבצע מחקר ופיתוח בנושאים חדשים ומבטיחים בחקלאות ובמדעי המזון ולתכנן, לארגן וליישם מחקר חקלאי בישראל. חוקרי מינהל המחקר החקלאי מלמדים במוסדות להשכלה גבוהה ובקורסים מתקדמים לחקלאות המיועדים למשתתפים מהארץ ומחו"ל ומנחים סטודנטים בעבודותיהם לתארים גבוהים. רבים מהחידושים שפותחו במינהל המחקר החקלאי מיושמים כבר ברמה המסחרית בארץ ובעולם. היישום מתבטא במיוחד בתחומים הבאים: גידולים מוגנים (חממות), השקיה, חקלאות באזורים צחיחים, טיפול בתוצרת לאחר הקטיף, הגנת הצומח, מיכון, וזנים חדשים של פירות, ירקות וצמחי נוי⁷.

2.2.6 חממה טכנולוגית

טרנדליינס אגרוטק - החממה הטכנולוגית הראשונה והיחידה בארץ הממוקדת בהשקעות בתחום, הקימה עד היום 23 חברות בתחומי עניין שונים החל מהגנת הצומח, רובוטיקה ואוטומציה, חקלאות מים, חקלאות מדייקת ועוד. טרנדליינס גם פועלת באופן נמרץ לבנות ולקדם את האקוסיסטם של עולם האגרוטק בישראל.

סטוראס למשל, היא חברה משתייכת לחממת טרנדליינס אגרוטק, שהוקמה ב-2013 על ידי ענת הלגוע סולומון וד"ר משה מירון. משרדי החברה נמצאים בגן התעשייה תל חי והיא מעסיקה כ-10 עובדים. החברה שמפתחת טכנולוגיה לתכנון וייעול השקיה של גידולים חקלאיים, השלימה סבב גיוס הון של 4 מיליון דולר. סטוראס מפתחת פלטפורמה הכוללת חיישנים זעירים המודדים את פוטנציאל המים בגזע לצורך ביצוע השקיה מדויקת. החיישן הזעיר, המותקן בתוך גזע העץ, מספק לחקלאים מידע מדויק באמצעות מערכת תקשורת אינטרנטית המעבירה את הנתונים למכשיר טאבלט או סמרטפון. על סמך הנתונים המתקבלים מהחיישנים יכול החקלאי לתכנן בצורה מדויקת יותר את כמויות המים שנועדו לצורך השקיית המטעים והכרמים, ולהימנע ממצב של השקיית יתר או

² <http://www.taranis.ag/>

³ <https://manna-irrigation.com/>

⁴ <http://rivulis.com/>

⁵ <https://www.phytech.com/>

⁶ <https://farmdog.ag/>

⁷ אתר מינהל המחקר החקלאי- מכון וולקני, <http://www.agri.gov.il/he/pages/1023.aspx>

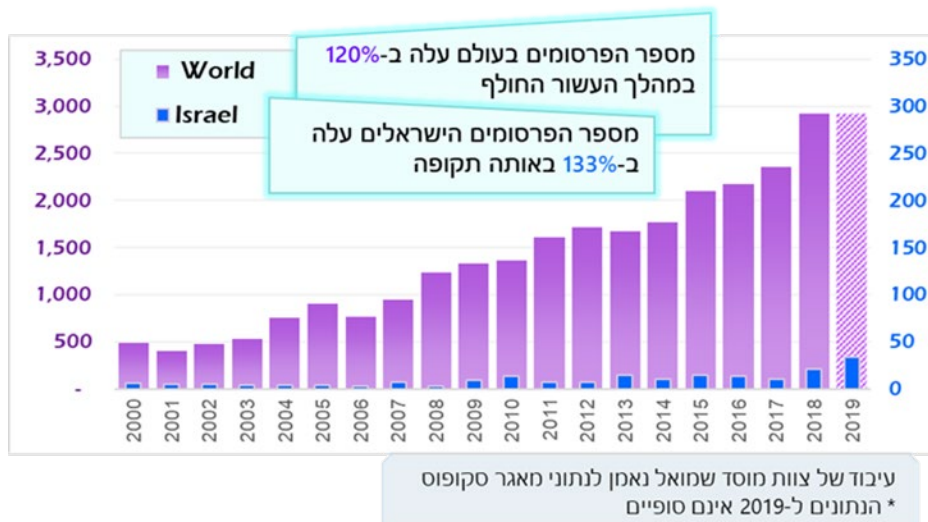
השקיית חסר שעשויים לפגוע באיכות היבולים. יש לציין כי אין צורך להתקין חיישן בכל עץ ועץ. בשל השונות הנמוכה בין עצים הגדלים בסמיכות, מספיק להתקין חיישן בעץ אחד בכל 10 דונמים. החיישנים של סטוראס מצליחים למדוד באופן אוטומטי את פוטנציאל המים בזמן אמת, מה שמסייע לבצע אופטימיזציה לתוכנית ההשקיה. החברה השלימה כבר ניסויי שדה לאורך תקופה של שנה במטעים של פירות הדר, תפוחים ושקדים בתשע חוות בספרד ובישראל, שבהן הותקנו כ-300 חיישנים. הניסויים התבצעו בשיתוף עם חברות ההשקיה נטפים ונען-דן ג'יין, שעימן חתמה סטוראס שיתופי פעולה אסטרטגיים בשנה שעברה. כמו כן, בחברה גם פיתחו חיישנים המותאמים לשימוש ביקבי יין, שכבר נוסו בהצלחה ביקב בגליל העליון.

ב-2019 חברת טרנדליינס (Trendlines), הנסחרת בבורסת סינגפור, הודיעה על הקמת קרן להשקעה בתחומי הטכנולוגיה החקלאית (אגרוטק). הקרן תוקם בסינגפור בתמיכת הממשלה המקומית, על ידי טרנדליינס יחד עם קרן ההשקעות CBG של המיליארדר הבריטי וינסנט צ'ינגוויז, ובשותפות עם קרן ההשקעות הסינגפורית הענקית Temasek. היום הודיעה החברה על סגירה ראשונה של השקעה בקרן, בסכום של 22 מיליון דולר, שבהמשך צפוי לצמוח ל-40-60 מיליון דולר. כשליש מהסכום שיגויס יופנה להשקעה בחברות צעירות, בעיקר בסינגפור, וכשני שלישים יופנו להשקעה בחברות בוגרות יותר - בין השאר, בישראל.

2.2.7 מדדים ביבליומטריים

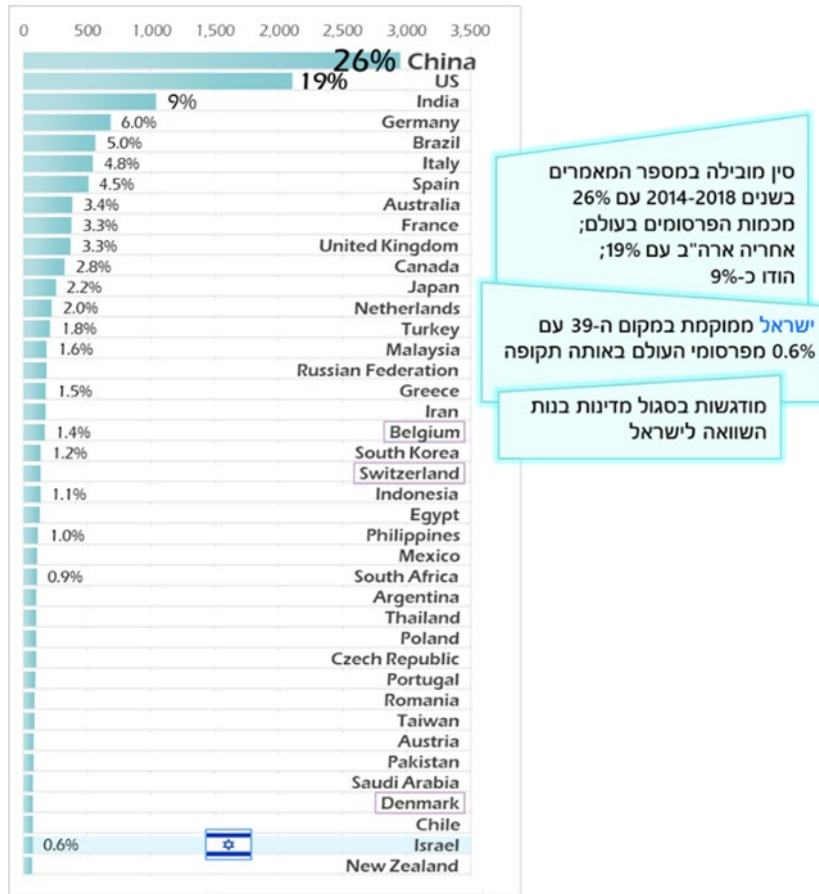
בשנת 2018 המאמרים הישראלים בנושא "חקלאות מדייקת" היוו כ-0.7% מפרסומי העולם בתחום⁸.

איור 2: השינוי במספר הפרסומים בתחום חקלאות מדייקת בישראל יחסית לעולם בשנים 2000-2019



query: ((TITLE-ABS-KEY(("Precision Agriculture" OR "Precision farming" OR "E-agriculture" OR "E-farming" OR "Intelligent Agriculture" OR "Intelligent farming" OR "Digital Agriculture" OR "Digital farming" OR "precision Irrigation" OR "precision fertigation"))) OR TITLE-ABS-KEY(("Remote Sensing" OR "Ground Penetrating Radar") and (crop or farm or Agricult*)))

איור 3: דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018



סין מובילה במספר המאמרים בשנים 2014-2018 עם 26% מכמות הפרסומים בעולם; אחריה ארה"ב עם 19%; הודו כ-9%

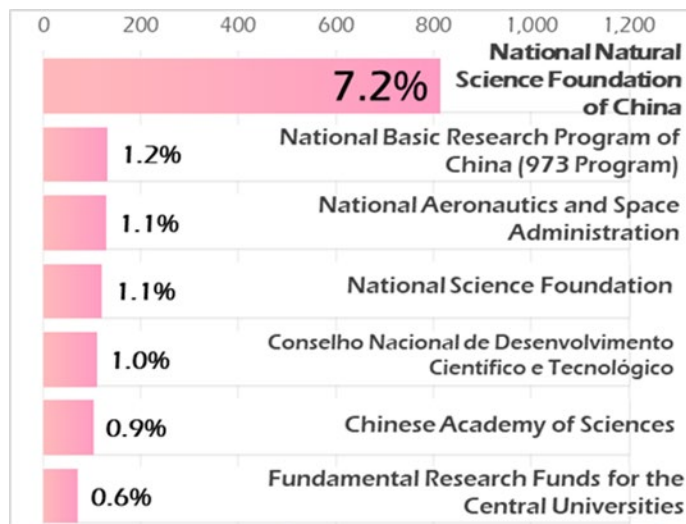
ישראל ממוקמת במקום ה-39 עם 0.6% מפרסומי העולם באותה תקופה

מודגשות בסגול מדינות בנות השוואה לישראל

עיבוד של צוות חוסד שמואל נאמן לנתוני מאגר סקופוס

*המדינות שמודגשות במסגרת צבעונית נחשבות בנות השוואה לישראל

איור 4: גופי המימון המובילים במספר הפרסומים בעולם 2014-2018



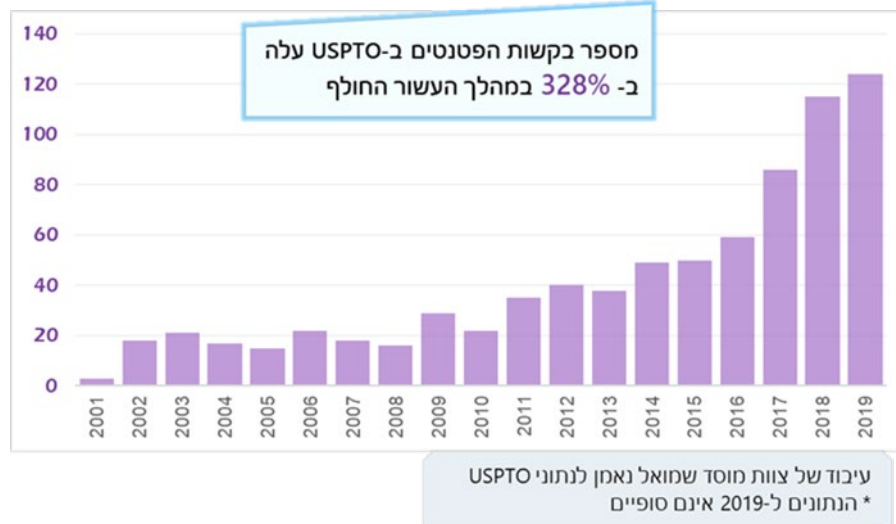
עיבוד של צוות חוסד שמואל נאמן לנתוני מאגר סקופוס

האיור מציג בצורה סכמתית את התפלגות הפרסומים לפני אוניברסיטאות (2014-2018) ורשימת חוקרים נבחרים. בן גוריון – כשליש מהפרסומים בתקופה; וולקני – רבע; הטכניון כ-19%

2.2.8 בקשות לפטנטים

האיור הבא מציג את הבקשות לפטנטים בתחום החקלאות מדייקת ב-USPTO בשנים 2001 עד 2019.

איור 5: בקשות לפטנטים בתחום חקלאות מדייקת ב-USPTO



בקשות לפטנטים של ממציאים ישראלים

בחינת הבקשות לפטנטים שהוגשו על-ידי ממציאים ישראלים, העלתה שבשנת 2002 הוגשה ב-USPTO בקשה לפטנט של ממציאים ישראלים וחברה אמריקאית. בין השנים 2016 ל-2018, הוגשו ב-USPTO שלוש בקשות לפטנט של מגישים ישראלים בתחום החקלאות המדייקת (שתי בקשות לפטנט של חברות ישראליות ובקשה משותפת לפטנט של אוניברסיטת תל אביב ומכון וולקני). פרוט הבקשות מופיע בנספח ג'.

2.2.9 מענקי מחקר

מענקי המחקר בתחום החקלאות המדייקת נסקרו בחמשת הגופים: ERC, BARD, GIF, BIRD ו-ISF בשנים עבון יש נתונים.

טבלה 1: מענקי מחקר בתחום חקלאות מדייקת

Foundation	For Years	No. of relevant Grants
ERC	2007 - 2019	2
BARD	2016 - 2019	7
GIF	2011 - 2018	2
BIRD	1979 - 2019	5
ISF	1991 - 2019	6
Total		22

מספר המענקים בתחום החקלאות המדייקת נמוך. מספר המענקים הגדול ביותר בתחום בשנים האחרונות, ניתן על ידי קרן BARD, שהיא קרן ייעודית למחקר חקלאי. בנספח ב' מפורטת רשימת מענקי המחקר שניתנו בתחום החקלאות המדייקת.

2.3 היתרונות של ישראל בתחום החקלאות המדייקת

- ישראל היא ארץ קטנה עם מגוון סוגי אקלים, קרקעות וגידולים - כמו מעבדה. יש בה אקלים סאב-טרופי, שהוא אקלים המאפיין את רוב האזורים בעולם הסובלים מבעית מזון.
- ישראל היא מדינה בעלת משאבים מוגבלים (למשל אדמות ומים). הצורך לאחריות בשימוש במשאבים מכתוב מציאת פתרונות שאפשר לנסות או ליישם בישראל.
- החקלאות בישראל מתקדמת, הפרוטוקולים החקלאיים, השקיה, דישון וכו' הם ברמה גבוהה.
- בניגוד לאגרו-ביוטכנולוגיה ששם לוקח כ-10 שנים עד ליישום בתעשייה, בחקלאות החכמה לוחות הזמנים קצרים ואין צורך באישור FDA. מדינת ישראל הצליחה במקומות בהם הפתרון לשוק מהיר.

שילוב של יתרונות אלה עם Smart Agriculture הוא שילוב ייחודי. יש בישראל את כל הקצוות שאפשר לקשור כדי לקדם חקלאות חכמה, אבל כיום הרכיבים מפוזרים ומתבססים על חוקרים אינדיבידואלים. אין בארץ מרכזים של חקלאות מדייקת. באנגליה למשל, יש מרכזים לאומיים, כמו אוניברסיטת הרפר-אדאמס⁹ ואוניברסיטת לינקולן¹⁰, שמוקדשים רק לנושא החקלאות החכמה.

⁹ <https://www.harper-adams.ac.uk/>

¹⁰ <http://agrifoodtech.blogs.lincoln.ac.uk/>

2.4.1 נספח א': רשימת החברות בתחום חקלאות מדייקת מתוך startup nation central

name	tag_line	sector	funding_stage	product_stage	employees
CanBreed	Uniform Cannabis Varieties for Large-scale Production	Agro and Food Technologies	Seed	R&D	"1-10"
Manna Irrigation	Satellite-based, Sensor-free Precision Irrigation	Agro and Food Technologies	Bootstrapped	Released	"11-50"
FruitSpec	Fruit Yield Estimation	Agro and Food Technologies	A	Released	"1-10"
Agrowing	High-end, Multispectral Camera Solutions for Agriculture	Agro and Food Technologies	Seed	Released	"1-10"
GrowDirector	Automated Home Growing Controller	Agro and Food Technologies	Seed	Released	"1-10"
Skyx	Autonomous Swarm of Spraying Drones for Agriculture	Agro and Food Technologies	Seed	Released	"1-10"
FieldIn	Farm Management Platform	Agro and Food Technologies	A	Released	"51-200"
Automato Robotics	Harvesting Robot	Agro and Food Technologies	Bootstrapped	Alpha	"1-10"
Tawodi	High-resolution Field Scouting Solution	Agro and Food Technologies	Bootstrapped	R&D	"1-10"
AgriWare	Tree-thinning Solution	Agro and Food Technologies	Bootstrapped	Beta	"1-10"
ToBe2	Mite Fumigation Device for Beehives	Agro and Food Technologies	Bootstrapped	Alpha	"1-10"
Brevel	Micro-algae Cultivation	Agro and Food Technologies	Bootstrapped	R&D	"1-10"
Croptimal	In-field Testing Laboratory	Agro and Food Technologies	Seed	R&D	"11-50"
Beewise	Autonomous AI-powered Beehives	Agro and Food Technologies	Seed	Alpha	"11-50"
AgroScout	Crop Monitoring for Early Detection and Identification of Plant Diseases	Agro and Food Technologies	Seed	Beta	"1-10"
Bloom Agro	Water Purification System for Banana Farms	Agro and Food Technologies	Revenue Financed	Released	"1-10"
miRobot	Multi-stall Robotic Milking System	Agro and Food Technologies	Seed	Released	"1-10"
BeeHero	Beehive Monitoring Solution	Agro and Food Technologies	Seed	Released	"1-10"
Roots Sustainable Agricultural Technologies	Root Zone Cooling and Heating Systems	Agro and Food Technologies	Public	Released	"1-10"

Tevatronic	Autonomous Irrigation System	Agro and Food Technologies	A	Released	"1-10"
Zeraim Gedera	Disease-resistant Vegetable Seeds and Products for Crop Protection	Agro and Food Technologies	Revenue Financed	Released	"51-200"
PolyGreen Group	Eco-friendly Super Absorbent Materials	Agro and Food Technologies	Seed	R&D	"11-50"
Talgil Computing & Control	Irrigation Control Systems	Agro and Food Technologies	Revenue Financed	Released	"11-50"
Aeronautics	Unmanned Aerial Systems and Defense Solutions	Security and Safety Technologies	Established	Released	"500+"
Vertical Field	Vertical Agriculture and Indoor Living Walls	Agro and Food Technologies	Revenue Financed	Released	"11-50"
eggXYt	Pre-incubation Sex Identification of Embryonic Chickens	Agro and Food Technologies	Seed	R&D	"1-10"
Trellis	AI-powered Agriculture and Food Production Optimization	Agro and Food Technologies	A	Released	"11-50"
Watersign	Smart Water Monitoring and Leakage Detection	Agro and Food Technologies	A	Alpha	"1-10"
N-Drip	Gravity Micro-irrigation Solution	Agro and Food Technologies	Seed	Released	"11-50"
Sensilize	Analyzing Vegetation with UAS Technology	Agro and Food Technologies	Seed	Released	"1-10"
MetoMotion	Robotic System for Greenhouses	Agro and Food Technologies	Seed	Alpha	"1-10"
CartaSense	Wireless Monitoring for Pharmaceutical and Agricultural Logistics	Industrial Technologies	A	Released	"11-50"
Phytech	Phytomonitoring Technology for Crop Management	Agro and Food Technologies	B	Released	"11-50"
CropX	Soil Sensor Platform for Adaptive Irrigation	Agro and Food Technologies	B	Released	"11-50"
Hinoman	Cultivation Systems for Protein-rich Mankai	Agro and Food Technologies	B	R&D	"11-50"
Netafim	Agricultural Irrigation Systems	Agro and Food Technologies	Established	Released	"500+"
meshek {76};	AI-based Autonomous Agriculture	Agro and Food Technologies	Bootstrapped	Alpha	"11-50"
SCR	Cow Monitoring and Milking Systems	Agro and Food Technologies	Established	Released	"51-200"
RCK	Cannabis Cultivation	Agro and Food Technologies	Pre-Seed	Released	"1-10"
WITI Sense	Remote Sensing for Monitoring Plant Health	Agro and Food Technologies	Bootstrapped	R&D	"1-10"
Katif	Autonomous Robotic Farming Technologies	Agro and Food Technologies	Seed	Alpha	"1-10"
Cannpany	Cannabis Cultivation Facilities	Agro and Food Technologies	Bootstrapped	R&D	"1-10"
Agrint	Early Pest Infestation Detection	Agro and Food Technologies	Seed	Released	"1-10"

CultiVu	Connecting Small Farmers with Local Advisors	Agro and Food Technologies	Bootstrapped	Released	"1-10"
edete Precision Technologies for Agriculture	Automated Pollination Systems	Agro and Food Technologies	A	R&D	"1-10"
Sciroot	Smart Irrigation Management System	Agro and Food Technologies	Seed	Released	"1-10"
AutoAgronom	Sensing System for Irrigation and Fertilization	Agro and Food Technologies	Revenue Financed	Released	"1-10"
GAVISH Control Systems	Agricultural Control Systems	Agro and Food Technologies	Revenue Financed	Released	"1-10"
Paskal Group	Irrigation-monitoring Solutions and Greenhouse Accessories	Agro and Food Technologies	Established	Released	"51-200"
FLUX Protocol	Distributed Network for Environmental Data	Agro and Food Technologies	Seed	Customer development	"1-10"
VBact	Real-time Microbe Detection Systems	Agro and Food Technologies	Revenue Financed	Beta	"1-10"
Taranis	Complex Imagery Platform for Predictive Crop Monitoring	Agro and Food Technologies	B	Released	"51-200"
Farm Dog	App for Pest and Disease Management	Agro and Food Technologies	Seed	Released	"1-10"
Phenome Networks	Plant Breeding Management and Analytics Platform	Agro and Food Technologies	A	Released	"11-50"
Equinom	Seed Breeding Using Computational Breeding Technology	Agro and Food Technologies	A	Released	"11-50"
AKOLogic	Agricultural Knowledge Solutions	Agro and Food Technologies	Revenue Financed	Released	"11-50"
Sempro Labs	Early Detection System for Pests and Diseases in Cultivated Plants	Agro and Food Technologies	Bootstrapped	R&D	"1-10"
Saillog	AI for Pest Management and Disease Identification	Agro and Food Technologies	Bootstrapped	Released	"1-10"
Mottes Tensiometers	Tensiometer-based Irrigation Systems	Agro and Food Technologies	Revenue Financed	Released	"1-10"
Tevel Aerobotics Technologies	Fleet of Airborne Harvesting Robots for Orchards	Agro and Food Technologies	A	Alpha	"11-50"
LightCann	Lights for Indoor Cannabis Growing	Agro and Food Technologies	Bootstrapped	Released	"1-10"
ClariFruit	Quality Detection for Produce	Agro and Food Technologies	Seed	Released	"1-10"
Seedwiz	GIS and AI Platform for Seed Selection and Trading	Agro and Food Technologies	Seed	Beta	"1-10"

Agrosif	Fruit-harvesting Machinery	Agro and Food Technologies	Revenue Financed	R&D	"1-10"
PlanetWatchers	Natural Resource Management System	Agro and Food Technologies	Seed	Released	"11-50"
indorz	Sensor Technology Solution for Enterprise Cannabis Farms	Agro and Food Technologies	Pre-Seed	Alpha	"1-10"
Mera Hawk	Remote Fertigation Monitoring	Agro and Food Technologies	Bootstrapped	Released	"1-10"
Plant-DiTech	Intelligent Diagnostics	Agro and Food Technologies	Bootstrapped	Released	"1-10"
Agrowiz	Farm Management Software	Agro and Food Technologies	Seed	Beta	"1-10"
Azrom	Turnkey Greenhouse Projects	Agro and Food Technologies	Revenue Financed	Released	"11-50"
Saturas	Embedded Stem Water Potential Sensors	Agro and Food Technologies	A	Released	"11-50"
Epoint Agro	Autonomous Irrigation Management	Agro and Food Technologies	Revenue Financed	Released	"1-10"
FFRobotics	Fully Robotic Fruit Harvester	Agro and Food Technologies	Bootstrapped	Beta	"11-50"
SupPlant	Real-time Field Monitoring Technology	Agro and Food Technologies	Seed	Released	"51-200"
Prospera	Automated Crop Monitoring	Agro and Food Technologies	B	Released	"51-200"
CommonSensor	Sensors for Efficient Plant Watering	Agro and Food Technologies	Revenue Financed	Released	"1-10"
Sol Chip	Solar Battery and IoT Communication Platform	Cleantech	B	Released	"11-50"
Haifa Group	Plant Nutrition Solutions	Agro and Food Technologies	Established	Released	"500+"
Metabolic Robots	IoT Feeding and Watering Systems for Poultry	Agro and Food Technologies	Seed	Released	"1-10"
AgriTask	Precision Agronomy and Agricultural Intelligence Platform	Agro and Food Technologies	A	Released	"51-200"
GiliOcean Technology	Smart Aquaculture Products	Agro and Food Technologies	Revenue Financed	Released	"1-10"
Tzuba Vision	Advanced LED-lighting Solutions	Agro and Food Technologies	Revenue Financed	Released	"11-50"
grofit	Holistic Sensing Solution for Greenhouse Farming	Agro and Food Technologies	Bootstrapped	Released	"1-10"
AMI Tens	Hardware and Kits for Measuring Soil Conditions	Agro and Food Technologies	Revenue Financed	Released	"1-10"
Viridix	Soil Sensor Technology for Precise Irrigation	Agro and Food Technologies	Seed	Released	"1-10"

Growee Technologies	AI-based Plant-feeding Technology	Agro and Food Technologies	Bootstrapped	Beta	"1-10"
MOOnitor	Remote Cattle-monitoring System	Agro and Food Technologies	A	Released	"1-10"
AgroLogic	Electronic Controls for Animal Farming	Agro and Food Technologies	Revenue Financed	Released	"11-50"
Blue White Robotics	Robot as a Service Solutions	Industrial Technologies	Bootstrapped	Released	"11-50"
Canonic	Medical Grade Cannabis Products	Agro and Food Technologies	Bootstrapped	R&D	"1-10"
Agricam	Cloud-based Precision Agriculture Platform	Agro and Food Technologies	Revenue Financed	Released	"1-10"
Aerodrome	Drone Technology for Agriculture and Homeland Security	Agro and Food Technologies	Revenue Financed	Released	"11-50"

2.4.2 נספח ב': רשימת מענקי המחקר בתחום חקלאות מדייקת

ERC - European Research Council – 1-3 M Euro for a 3-year grant

Year	Researcher	Institute	Title	Total
2012	Ilan Koren	Weizmann Inst.	Clouds and Precipitation Response to Anthropogenic Changes in the Natural Environment	
2015	Chaim Israel Garfinkel	HUJI	Forecasting Surface Weather and Climate at One-Month Leads through Stratosphere-Troposphere Coupling	2 Grants

BARD - US-ISRAEL BINATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH AND DEVELOPMENT FUND; Maximum award: \$310,000 for a 3-year grant

Year 2016 - 2019	Researcher (mentioned only first Israeli researcher)	Institute	Title	Total
	Bechar, A	ARO	Development of a robotic inspection system for early identification and locating of biotic and abiotic stresses in greenhouse crops	
	Cohen, Y	ARO	Using remote sensing to develop dynamic irrigation management zones	
	Linker, R.	Technion	Advanced framework for optimizing irrigation management and improving resource use efficiency	
	Kamai, T.	ARO	Development of heat-pulse sensors for measuring fluxes of water and solutes under the root zone	
	Morin, E.	HUJI	Risk of soil erosion by water estimated with remotely sensed rainfall data, process-based models and weather generators	
	Ben-Gal, A.	ARO	Spatiotemporal decision support systems for recognizing variability and managing precision irrigation	
	Litaor, M.	MIGAL	Integrated solution systems development for precision fertilizer management	7 Grants

GIF - The German Israeli Foundation for Scientific Research and Development

Year (2011 – 2018)	Researcher (mentioned only first Israeli researcher)	Institute	Title	Total
2011	Kaspi Yohai	Weizmann Inst.	Storm track variability over past and future climates	
2011	Fishbain Barak	Technion	Real-time Event Analysis Algorithms for Effective Multi-Source Environmental Monitoring	2 Grants

BIRD (Binational Industrial Research and Development) Foundation. It provides conditional grants of up to 50% of a project's budget

Year	Researcher	Institute	Title	Total
2017	Farm Dog Technologies Ltd.	Company	Decision Support Engine and Enabler of Variable Rate Application of Pesticides	
2017	Taranis Visual Ltd.	Company	AgTech – Crop Abiotic Stress Detection and Prevention	
1983	Motorola Solutions Israel Ltd.	Company	Computerized Control System for Movable Irrigation Machines	
1986	Rotem Ltd.	Company	Computerized System for Poultry Houses	
1979	Motorola Solutions Israel Ltd.	Company	Irrigation Control Equipment	5 Grants

ISF - Israel Science Foundation (200-300,000 NIS a year, for 3 years grant)

באתר ISF נעשתה הסריקה על ידי מילות החיפוש "חקלאות מדייקת" ו"חישה מרחוק".

Year (1991 – 2019)	Researcher	Institute	Title	Total
2015	איל בן-דור	TAU	יישום טכנולוגיית חישה מרחוק היפרספקטרלית בתחום התת אדום גלים ארוכים להערכת השפעת תהליכים איאוליים על פני שטח של קרקע	
2018	איל בן-דור	TAU	חישה מרחוק של עקת חנקן בירקות על ידי שימוש בחיישנים עם רזולוציה עיתית, מרחבית וספקטרלית גבוהה בתחומי הקרינה הפאסיבית (אופטית ותרמית)	
2018	אפרת מורין	HUJI	יחסי עצמה-משך-שטח-שכיחות וסיכון שיטפונות של גשם קיצוני מתוך נתוני חישה מרחוק	
2006	טל סבוראי	BGU	התרת הדינאמיקה של הייצור הראשוני במערכות אקולוגיות: שילוב מודלים מרחביים-עתיים עם חישה מרחוק ונתוני שדה	
2019	תומר פישמן	IDC	חישה מרחוק של דפוסים של צבירת משאבים בסביבה האורבנית	
2019	אלכסנדרה צ'ודובסקי	TAU	מדידת איכות אוויר בשטח העיר באמצעות שיטות של חישה מרחוק: תל-אביב כמקרה בוחן	6 Grants

2.4.3 נספח ג: בקשות לפטנטים של ממציאים ישראלים

Sort by Sort order

<input type="checkbox"/> 1. SYSTEMS AND METHODS FOR AGRICULTURAL MONITORING						
★	Inventor:	Applicant:	CPC:	IPC:	Publication info:	Priority date:
	GORNIK AMIHAY [IL]	A A A TARANIS VISUAL LTD [IL]	<u>A01B79/005</u> A01B79/02 B64D47/08 (+7)	A01B79/00 G06T7/00 H04N5/232 (+1)	US2019253673 (A1) 2019-08-15	2015-01-11
<input type="checkbox"/> 2. AGRICULTURAL ROBOT						
★	Inventor:	Applicant:	CPC:	IPC:	Publication info:	Priority date:
	KOSA GABOR [IL] BECHAR AVITAL [IL] (+2)	RAMOT AT TEL-AVIV UNIV LTD [IL] THE STATE OF ISRAEL MINISTRY OF AGRICULTURE & RURAL DEVELOPMENT AGRICULTURAL RES ORGANIZAT [IL]	A01B69/004 <u>A01B79/005</u> A01D46/30 (+2)	A01B69/00 A01B79/00 G05D1/00 (+1)	US2018017965 (A1) 2018-01-18	2015-01-21
<input type="checkbox"/> 3. Accurately Determining Crop Yield at a Farm Level						
★	Inventor:	Applicant:	CPC:	IPC:	Publication info:	Priority date:
	AHARONI EHUD [IL] CHITNIS UPENDRA D [US] (+2)	IBM [US]	<u>A01B79/005</u> G06Q50/02	A01D41/127 G01C9/02	US2017164556 (A1) 2017-06-15 US10091925 (B2) 2018-10-09	2015-12-09
<input type="checkbox"/> 4. METHOD AND SYSTEM FOR LAWN CARE						
★	Inventor:	Applicant:	CPC:	IPC:	Publication info:	Priority date:
	SHALEV AMIR [IL] EREZ ERAN [IL]	EASE ROBOTICS LTD [IL]	<u>A01B79/005</u> G05B19/418 G05D1/0219 (+1)	G01C21/00 G05B19/418	WO2015173825 (A1) 2015-11-19	2014-05-15
<input type="checkbox"/> 5. Self contained fully automated robotic crop production facility						
★	Inventor:	Applicant:	CPC:	IPC:	Publication info:	Priority date:
	HESEL LIOR [IL]	ORGANITECH LTD [US]	<u>A01B79/005</u> A01C11/02 A01C21/00 (+2)	A01B79/00 A01C1/00 A01C11/02 (+6)	US6243987 (B1) 2001-06-12	1999-09-01

מקור הנתונים: Espacenet של ה-EPO השאילתה: CPC=A01B79/005 AND Applicant="[IL]"

2.5 מקורות

אילון, א., פרוינד קורן, ש., ליבס, ע., זרביב ציון, מ. (2016). *תעשיית הטכנולוגיות החקלאיות החדשניות בישראל*. מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית.

אסיף, ש. (שרי). (2016). אגרו-טכנולוגיה בישראל- חסמי צמיחה וכלים לתמיכה. ירושלים. Retrieved from <http://milkeninnovationcenter.org/wp-content/uploads/2016/10/107-HB-F-W-Sheri.pdf>

בקרמן, ל., & ממו, ב. (2012). ישראל כמרכז חדשנות גלובלי בתחומי האגרוטק- דו"ח לוועדה למינוף המו"פ החלקאי בישראל/Retrieved from http://most.gov.il/Molmop/Reports/Documents/ישראל_כמרכז_חדשנות-אגרוטק.PDF.

AgFunder. (2015). *AgTech investing report, year in review 2015*. Adfunder.

Bac, C.W. (2014). Robots for High-value Crops: State-of-the-art Review and Challenges Ahead. *J. F. Robot.* 31, 888–911.

Camargo, A. (2009). Image pattern classification for the identification of disease causing agents in plants. *Comput. Electron. Agric.* 66, 121–125.

Devadas, R.e. (2015). Sequential application of hyperspectral indices for delineation of stripe rust infection and nitrogen deficiency in wheat.

Precis. Agric. 16, 477–491.

Dong, X.V. (2013). Autonomous precision agriculture through integration of wireless underground sensor networks with center pivot irrigation systems. *Ad Hoc Networks* 11, 1975–1987.

Elarab, M.e. (2015). Estimating chlorophyll with thermal and broadband multispectral high resolution imagery from an unmanned aerial system using relevance vector machines for precision agriculture. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 43, 32-42.

Gebbers, R. (2010). Precision agriculture and food security. *Science* ,327, 831–828 Haboudane, 2002.

Haibo, L.S. (2015). Study and Experiment on a Wheat Precision Seeding Robot. *J. Robot.* 2015, 1–9.

Jensen, C.R. (2014). A Short Overview of Measures for Securing Water Resources for Irrigated Crop Production. *J. Agron. Crop Sci.* 200, 333–343.

Liang, L.e. (2015). Estimation of crop LAI using hyperspectral vegetation indices and a hybrid inversion method. *Remote Sens. Environ.* 165, 123–134.

MacDonald, J.M. (2013). Farm Size and the Organization of U.S. Crop Farming. *USDA Economic Research Report number 152*.

Mahlein, A.-K. O.-C.-W. (2012). Recent advances in sensing plant diseases for precision crop protection. *Eur. J. Plant Pathol.* 133, 197–209.

Martinelli, F.e. (2014). Advanced methods of plant disease detection. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 1–25.

McCarthy, A.C. (2011). Advanced process control of irrigation: the current state and an analysis to aid future development. *Irrig. Sci.* 31, 183–192.

Melkonian, J.J. (2008). Adaptive nitrogen management for maize using highresolution climate data and model simulations. *th Int. Conf. Precis. Agric.*

Papadakis, P. (2013). Terrain traversability analysis methods for unmanned ground vehicles: A survey. *Eng. Appl. Artif. Intell.* 26, 1373–1385.

Polischuk, V.P. (1997). Changes in reflectance spectrum characteristic of nicotiana debneyi plant under the influence of viral infection. *Arch. Phytopathol. Plant Prot.* 31, 115–119.

Thenkabail, P.S. (2000). Hyperspectral Vegetation Indices and Their Relationships with Agricultural Crop Characteristics. *Remote Sens. Environ.* 71, 158–182.

Zhang, Y.S. (2012). Robust hyperspectral vision-based classification for multiseason weed mapping. *ISPRS J. Photogramm Remote Sens.* 69, 65–73.

3 מקורות מזון חדשים

תודתנו לד"ר עפרה לוטן וד"ר יאיר בזמן על הערותיהם ועל עזרתם במיקוד הסקירה.

3.1 יתרונות, אתגרים והמלצות

3.1.1 יתרונות של ישראל בתחום

לפי סקירה של רשות החדשנות (Israel Innovation Authority, 2019) חלים לאחרונה שינויים משמעותיים בשוק המזון העולמי הנובעים ממספר סיבות: גידול בביקוש למזון ללא כימיקלים וחומרים משמרים, הבנה גדלה של ההשפעות הסביבתיות השליליות של חקלאות במדינות מתפתחות, שינויים בשרשרת האספקה שנובעים מהתקדמות בתחומי המחשוב והמידע וגידול האוכלוסייה המביאים לגידול כללי בביקוש למזון ומשקאות.

לישראל יתרונות יחסיים בתחום מקורות המזון החדשים הנובעים בין השאר מיכולתם של חוקרים ישראלים לעבוד עם חוקרים אחרים במחקר מולטידיסציפלינרי וממוניטין עולמי של חדשנות בתחום החקלאות. השוק המקומי הוא שוק קטן, אך כ-13% מהאוכלוסייה הם צמחונים (שיעור בין הגבוהים בעולם), וקיימת פתיחות לנסות פתרונות שונים בתחום זה (Press, 2019).

להלן חלק מהיתרונות של ישראל בתחום המזון האלטרנטיבי לפי תחומים:

- **בשר מתורבת:** בישראל קיים אקו-סיסטם מגובש בתחום זה הכולל מחקר (כולל שיתוף פעולה בין האקדמיה לתעשייה), משקיעים מהארץ ומהעולם, חברות מזון מקומיות ובינלאומיות, חברות הזנק ותמיכה ממשלתית. התוצאה היא נוכחות מרשימה בשוק שהולך ומתגבש.
- **חלבון מהצומח:** היתרון של ישראל בתחומים אלו הוא בעיקר בתחום חומרי הגלם כמו למשל חלבון המופק מפטריות (דוגמא לחברה בתחום: Kinoko-Tech), חימצה (חומוס) (דוגמא לחברות בתחום: InnovoPro, ChickP) צמח המים מנקאי (דוגמא לחברה בתחום: Hinoman) ועוד. בנוסף לפחות שתי חברות עוסקות בהדפסת תלת מימד של תחליף בשר ממקור צמחי, ואחת מהן, Redefined meat, גייסה כ-M\$ 6 במהלך השנה החולפת להשלמת הפיתוח.
- **חרקים למאכל:** היישומים השונים של חרקים בשירות האדם מהווים דוגמא טובה לקו המקשר בין מספר מוקדים של יתרונות יחסיים שיש לישראל, בכך שהם דורשים אינטגרציה וסינרגיה בין ידע שבמקור נועד לשרת את תחום החקלאות, לדוגמא, ובין ידע בתחומי הכימיה והרפואה. היכולת ליצור חיבור שכזה היא נקודת חוזקה מאפיינת של ישראל, וביכולתה להיות "game-changer" עולמי בתחומים בהם תמומש. מסקירה בינלאומית וראיונות שקיים מוסד נאמן עם אנשי מפתח בתחום, ניכר כי **תחומי החרקים לחקלאות ולמזון הם בעלי הפוטנציאל הגדול ביותר בטווחי הזמן המידי עד הבינוני**. ראוי לציין שתחום המזון בישראל צפוי להיות מאד מוגבל מסחרית בגלל מגבלת כשרות של מירב סוגי המזון מחרקים (פורטונה et al., 2016).

3.1.2 אתגרים של ישראל בתחום

יש לציין שהאתגרים המובאים לעיל אינם אופייניים רק לישראל, אלה לכלל המדינות העוסקות בתחום בעולם. על מנת לזהות אתגרים שעשויים להיות ייחודיים לישראל יש לבצע ראיונות (ראו רשימת מומחים לביצוע ראיונות בהמשך).

אתגרים רגולטוריים:

עבור מרבית סוגי מקורות המזון החדשים תהליך התקינה והרגולציה נמצא רק בראשיתו. החל מה-1 בינואר 2018, חלה באירופה תקנה חדשה לגבי "מזון חדש" (Novel Food legislation) שמטרתה שמירה על רמה גבוהה של בטיחות מזון לצרכנים האירופים. ה-FDA האמריקאי פרסם גם הוא הנחיות לתעשייה למזון שמקורם בזנים חדשים של צמחים שבמסגרתן הערכת הבטיחות של חלבון שהוצג צריכה להיות מבוססת על רשימה ארוכה של פרמטרים (בהתאם לנסיבות). תחום הבשר המתורבת רק התחיל את תהליך אישורו ברוב גופי הרגולציה הרלוונטיים בעולם. בארה"ב, למשל בשר מתורבת נדרש נכון להיום לעמוד במספר לא מבוטל של

תקנות. יש לציין שחוסר הבשלות בתחום הרגולציה יכול להוות גם להוות גם הזדמנות להשפיע ולהיות חלק מקביעת התקנים והרגולציה בתחום.

אתגרים חברתיים:

לחלק מסוגי המזון החדשים קיימות התנגדויות ברמה האישית והחברתית מצד הצרכנים. להלן מספר דוגמאות:

- בתחום **הבשר המתורבת**, למשל, צרכנים הביאו דאגות לגבי מידת ה"טבעיות" שלו, בטיחותו, תרומתו לבריאות, טעמו/מרקמו/מראהו, מחירו הצפוי, וכן עד כמה הוא בר-קיימא, אתי ומפוקח (Bryant & Barnett, 2018).
- אכילת **חרקים** נחשבת לרוב כטאבו בתרבות המערבית (שבה מתבצעת פעילות ענפה של תרבות יצור חרקים)
- לצרכנים עדיין אין הכרות עם **חלבון המופק ממיקרואורגניזמים** (Mycoprotein). בחלק מהמקומות ישנה דרישה רגולטורית לרשום את המילה "עובש" על המוצרים, דבר היוצר השפעה שלילית על תפיסת הצרכנים.

אתגרים טכנולוגיים:

בחלק מסוגי המזון החדשים עדיין קיימים פערים טכנולוגיים משמעותיים. להלן דוגמאות:

- **בשר מתורבת**: נכון לשנת 2019 עדיין לא ניתן להשיג בשר מתורבת בשוק. אומנם החוקר ההולנדי פרופ' מרק פוסט הוכיח כבר בשנת 2013 היתכנות ייצור המבורגר מבוסס תאים, ומספר חברות בעולם כבר סיימו לפתח אב טיפוס, אך עדיין אין תהליך ייצור תעשייתי ולא נוצרה התכנות כלכלית לייצור בקנה מידה גדול.
- **אצות**: עדיין נדרש מחקר רב בתחום הקציר, הפקת החלבון ועוד. קיימים גם אתגרים של משמעותיים של טיפול בטעמי לוואי.
- **חרקים למאכל**: עיקר האתגרים הטכנולוגיים נוגעים להעברה לייצור ולייעול אנרגטי של תהליך הייצור. בנוסף נדרש עוד מחקר ופיתוח בנושא הטקסטורה של החלבון המופק.

3.1.3 מסקנות

מאחר ומדובר בנושא שבו כבר מבוצעת השקעה ממשלתית משמעותית (חממה טכנולוגית בתחום המזון בנפת צפת, The Kitchen- FoodTech hub, מעבדת חדשנות FoodNxt) יש צורך לבצע ראיונות עם מומחים בתחום על מנת לבדוק האם עדיין קיימים כשלי שוק שדורשים השקעה נוספת.

3.1.4 רשימת מומחים לביצוע ראיונות

בשר מתורבת

- פרופ' שולמית לבנברג (דיקנית הפקולטה להנדסת ביו-רפואה בטכניון ו-CSO ב-Aleph farms)
- פרופ' קובי נחמיאס (המחלקה לביו-הנדסה, האונ' העברית ומייסד ו-CSO של Future Meat Technologies, שהיא spin-off של חברת העברת הטכנולוגיה של האונ' העברית (יישום))

מזון מבוסס אצות וצמחי מים

- ד"ר יוסי טל, CTO ב - Sea of Life - Seakura (Cultivating Clean Seaweed)

חרקים

- חנן אביב, Co-founder & CTO חרגול פודטק

חלבון ומזון המיוצרים על ידי מערכות מיקרואורגניזמיות:

- דריה פלדמן, Kimko-Tech

מזון מהצומח (צמחים שעדיין לא משמשים בתעשיית המזון):

- פרופ' רם רייפן (הפקולטה לחקלאות מזון וסביבה, האוניברסיטה העברית ו-Founder ב-Chick-P)

בנוסף:

- ד"ר תמי מיירון, CTO בחממת FreshStart
- ד"ר תום בן אריה, מדען ראשי, The Good Food Institute

3.2 רקע

נושא פרק זה הוא מקורות מזון חדשים אשר טרם משמשים כיום באופן נרחב או בכלל כחומרי גלם לצריכה ולתעשייה.

3.2.1 הגדרות

תהליכי גידול של אוכלוסיית העולם מביאים לכך ששיטות חקלאיות סטנדרטיות אינן מספיקות עוד כדי לספק את צרכי האוכלוסייה מבלי לדלדל מקורות טבעיים ולגרום לנזק סביבתי קשה. בנוסף לכך, הדרישה לאוכל בריא יותר עולה בקרב אוכלוסיות רבות (בעיקר במערב), וכמוה גם המודעות לנושאים מוסריים המתקשרים לתעשיית ייצור המזון (Holban & Grumezescu, 2018). הסקטור שעוסק במתן מענים טכנולוגיים לאתגרים אלו הוא ה-Food-Tech (או AgriFood-Tech). מנעד המענים רחב מאוד ונע לאורך כל שרשרת האספקה, החל מייצור התשומות וחומרי הגלם וכלה ברכישה וצריכה על ידי הצרכנים הסופיים.

מקורות מזון אלטרנטיביים הם תחום ייחודי בתוך סקטור ה-Food-Tech. המונח מתייחס למזונות, חומרים מזינים וחלבונים שמקורם במקורות לא שגרתיים, כמו צמחים עתירי חלבון, חרקים, בשר שגדל במעבדה ועוד. (Rausnitz, 2019). להלן פירוט מקורות מזון חדשים אשר טרם משמשים כיום באופן נרחב או בכלל כחומרי גלם לצריכה ולתעשייה:

בשר מתורבת (Cultured meat), נקרא גם בשר סינטטי, בשר מבוסס תאים, בשר במעבדה, *in-Vitro* meat, בשר נקי ושמות נוספים):

בשר מתורבת מיוצר בטכנולוגיית תרבית רקמות (התהליך באמצעותו מתחדשים/מתרבים תאים מן החי באמצעות תאים בודדים כמקור) תהליך זה יוצר רקמה המחקה רקמת בעלי חיים. (Bashi, McCullough, Ong, & Ramirez, 2019)

מזון מבוסס אצות וצמחי מים:

- **מאקרו-אצות (Macroalgae, Seaweed):** אצות מקרוסקופיות, רב-תאיות, ימיות, החיות בסמוך לקרקעית הים. המונח כולל כמה מחברי האצות האדומות, החומות והירוקות. מראה אצות הים דומה לצמחים יבשתיים שאינם עצים (non-arboreal) (Suganya, Varman, Masjuki, & Renganathan, 2016).
- **מיקרו-אצות (Microalgae, Microphytes):** אצות מיקרוסקופיות, הנמצאות במים מתוקים ומי ים. הם מינים חד-תאיים הקיימים באופן פרטני, בשרשראות או בקבוצות. גודלם יכול לנוע בין כמה מיקרומטר למספר מאות מיקרומטר. שלא כמו צמחים גבוהים יותר, למיקרו-אצות אין שורשים, גבעולים ועלים. מיקרו-אצות המסוגלות לבצע פוטוסינתזה, חשובות לחיים עלי אדמות: הן מייצרות כמחצית מהחמצן האטמוספרי ומשתמשות בו זמנית בפחמן דו חמצני. המגוון הביולוגי של המיקרו-אצות הוא עצום והן נחשבות למשאב כמעט בלתי מנוצל. ההערכה היא שכ- 20,000-800,000 מינים קיימים שמתוכם רק כ- 40-50,000 מינים ידועים כיום (Suganya et al., 2016).
- **צמחי מים זעירים (למשל כדרוריות מים *wolfia*):** אחד ממקורות החלבון החדשים הקיימים הוא כדרורית המים. המנקאי הוא זן מעובד של כדרורית המים, והוא מכיל מעל 45% חלבון (Kaplan et al., 2019).

אצות משמשות למזון לבני אדם ולבעלי חיים יבשתיים וימיים (למשל מקרו-אצות כמו Nori, Wakame, Kombu ו-Dulse ומיקרו-אצות כמו Chlorella). קיימים יישומים נוספים רבים לאצות ובהם שימוש כחומרי גלם לתעשיות התרופות, צבעי מאכל, דשנים, דלקים, קוסמטיקה וכימיקליים. עם זאת שימוש באצות ליישומים שונים הוא תחום שעדיין עומד בפני אתגרים רבים (Griffiths, Harrison, Smit, & Maharajh, 2016).

חרקים:

חרקים אכילים מכילים חלבון, ויטמינים וחומצות אמינו באיכות גבוהה. לחרקים שיעור המרת מזון גבוהה: צרצרים, למשל, זקוקים לכמות מזון נמוכה פי שש מאשר בקר, פי ארבעה מאשר כבשים, ופי שתיים מאשר מחזירים ותרנגולות כדי להפיק את אותה כמות חלבון. חרקים פולטים פחות גזי חממה ואמוניה מאשר בעלי חיים קונבנציונליים, וניתן לגדל אותם על מצע פסולת אורגנית. לכן, חרקים הם מקור פוטנציאלי לייצור של חלבון לצריכה ישירה של בני אדם, כחומר גלם לייצור מזון וכמקור חלבון לתערובות מזון לבעלי חיים (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019)

חלבון ומזון המיוצרים על ידי מערכות מיקרואורגניזמיות:

תאים של מיקרואורגניזמים (אצות, חיידקים, פטריות ושמרים) משמשים כתוספים עשירים בחלבון למזון בני אדם ובעלי חיים. חלבון מיקרוביאלי נחשב כיום כמקור חלופי לחלבון מן החי או מהצומח. חלבונים חד-תאיים הם בדרך כלל הבימסה המיקרוביאלית¹¹ או תמצית החלבון. הטבלה הבאה מציגה מספר פרמטרים המאפיינים חלבון-מיקרוביאלי. (Ranghar, Agrawal, & Agrawal, 2019)

מזון מהצומח

מרבית רכיבי החלבון הצמחיים הקיימים כיום בשוק מבוססים על 2% מתוך כ-150 סוגי צמחים עיקריים שמשמשים בתעשיית המזון. קיים מאגר פוטנציאלי רחב של מקורות חלבון צמחיים שטרם נחקרו, וזאת מבלי לקחת בחשבון מאות אלפי צמחים שאינם משמשים היום בתעשיית המזון. החדשנות בתחום נובעת הן מהרחבת גיוון המקורות הצמחיים להפקת חלבון, הן מתהליכי הפקת החלבון והן מהפיכת חומרי הגלם למוצרים סופיים (Lagally, Rees Clayton, & Specht, 2017)

ה- Good Food Institute מתאר את סוגי חלבון אלטרנטיביים בטבלה הבאה:

טבלה 2: קטגוריות של מקורות חלבון חדשניים

Plant proteins	Non-animal cell culture	Recombinant proteins	Animal cell culture
Proteins derived from plant ingredients. "Plant" defined by the domain Eukarya; kingdom Plantae.	Ingredients encompassing anything but animal cells (including plant, fungi, algae, and bacteria sources) that (1) are produced using cultured methods, and (2) yield cells that are themselves the product (distinct from recombinant sources where just one component, such as protein, is desired).	Proteins derived from fast-growing, highly efficient host microorganisms. Microorganisms are introduced to genes encoding desired proteins, which populate (grow in controlled environments) and express the desired protein. Proteins are then extracted from the host and purified.	Food matrix derived from animal cells that are cultured through a variety of methods and combinations (including recombinant protein production and the use of bioreactors).
Examples: Whole and fractionated forms of legume and cereal flours.	Examples: Whole forms of algae and fungi in dry, fresh, or paste forms.	Examples: Individual proteins found in dairy and eggs.	Examples: Meat ("meat" defined as animal tissue/composed of animal cells derived from red meat, poultry, seafood).

¹¹ המסה הכוללת של כל המיקרובים באזור ובזמן מסוים

3.2.2 השוק העולמי למקורות מזון חדשים

חברת הייעוץ McKinsey & Company מסכמת את הסביבה התחרותית של מספר מקורות מזון חדשים:

טבלה 3: הסביבה התחרותית של מקורות מזון חדשים לפי McKinsey & Company

	Competitive position	Challenges	\$/kg, 100% protein	PDCAAS *	Novelty
Soy Protein	Soy is extremely well developed, with major investments across its value chain from farm to fork. It has one of the lowest levels of environmental impact as a nitrogen-fixing crop and a low price point. All these factors make soy the highest-value alternative protein	Soy is generally a GMO, so perceptions may be affected by the broader consumer debate about the safety of GMOs. In addition, soy is reported to have allergenic and estrogenic effects, though a recent review of the literature shows that any negative effects are very limited	2.0	0.96	10<years on the market
Pea Protein	Coming from a nitrogen-fixing legume, pea protein has one of the lowest levels of environmental impact. In addition, it is one of the cheapest alternative protein sources and also gets points with consumers for safety, as it is non-GMO and nonallergenic. The industry has seen a spike in patent filing on pea protein by 15 percent CAGR since 2009, while soy declined by 2 percent over the same period, signaling growing interest	Peas contain approximately 24 percent protein. Processing them for protein leads to a high volume of by-product, mainly starch, therefore manufacturers must find a specialty starch market to make pea processing economics less vulnerable to pea price volatility. Current markets include vermicelli noodles, thickening agents, and batter	5.0	0.72	10< years on the market
Insect protein	Insect protein is the most efficient in conversion of feed into edible weight, requiring 2.3 kilograms of feed to 1.0 kilogram of live animal weight and can be raised on low-value agricultural by-products. Chicken (2.3 kilograms), pork (5.0 kilograms), and beef (8.8 kilograms) all call for significantly more feed	Production is currently costlier (\$4 to \$5 a pound) than alternatives with higher-quality protein, such as poultry, dairy, and beef. To be competitive, insect protein would need to be ~\$2 a pound. Furthermore, the taste is a barrier for adoption	41.0	0.73	5< years on the market
Myco-protein	Mycoprotein has higher fiber and a lower fat content than meat. It has experienced relative success in Europe and is growing in the US market. The food industry is selecting new strains and using gene-editing technology to	Consumers are unfamiliar with mycoprotein, and a recent legal settlement required labeling to explicitly include the term "mold," which negatively affects consumer perception and .could impede its growth	13.0	1.0	5< years on the market

	Competitive position	Challenges	\$/kg, 100% protein	PDCAAS *	Novelty
	improve performance. Traditionally, mycoprotein has been produced using glucose, a relatively costly feedstock. Start-ups are working on changing the feedstock to reduce production costs				
Cultures meat	Cultured meat is currently not available for purchase, but over the next five years it is predicted to reach the high-end market through specialty restaurants. In the next ten years, it should be cost competitive with conventional animal production systems	The industry must overcome major technological challenges before it can hope to become price competitive with conventional animal production systems. The electric energy consumed when producing cultured meat is the main contributor to the environmental impact. The barrier to entry is high for food producers as this technology is still in the development stage and substantial investment in infrastructure and expertise is required	300.0	0.92	Not available

*Protein digestibility-corrected amino acid score
 מקור: (Bashi et al., 2019)

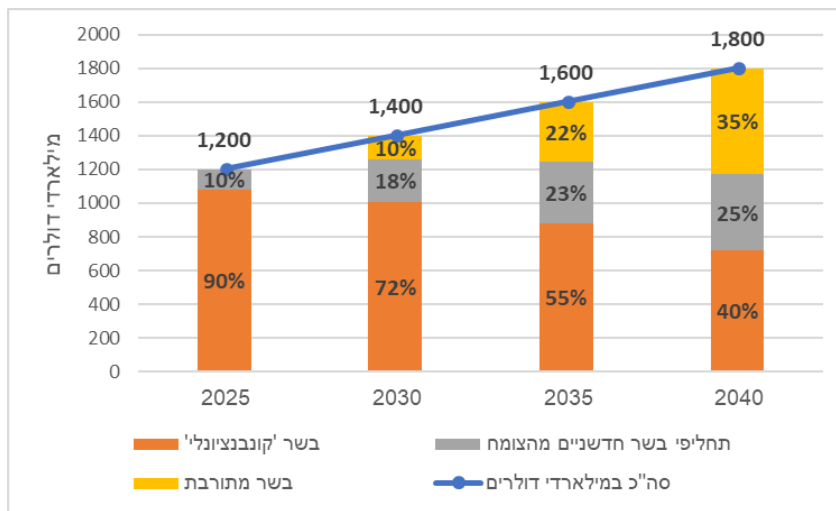
להלן מספר תובנות ממקורות נוספים לגבי מצב השוק בעולם ותחזיות לעתיד:

שוק הבשר המתורבת (בשר מבוסס תאים):

נכון לשנת 2019 עדיין לא ניתן להשיג בשר מתורבת בשוק. אומנם החוקר ההולנדי פרופ' מרק פוסט הוכיח כבר בשנת 2013 התכנות ייצור המבורגר מבוסס תאים, ומספר חברות בעולם כבר סיימו לפתח אב טיפוס, אך עדיין אין תהליך ייצור תעשייתי ולא נוצרה התכנות כלכלית לייצור בקנה מידה גדול. החברות המובילות בעולם בתחום (Memphis Meats, CUBIQ Foods ומסא מיי) הביעו בטחון בטכנולוגיות הקיימות, והודיעו שהן מצפות להתחיל לייצר מוצרים לשוק כבר בשנת 2021 (Cameron & Shannon, 2019). יש לציין שההשקעה הראשונה בחברת מוצרים מבוססי תאים, נרשמה בארה"ב רק בשנת 2015. בין השנים 2015-2018 הושקעו בחברות בתחום זה בארה"ב כ- 73.3 מיליוני דולרים, כאשר היקף ההשקעות גדל בכ-170% בין השנים 2017 ל-2018 (McCracken, 2018, Cameron et al., 2019).

מרבית התחזיות חוזות גידול משמעותי בשוק הבשר המתורבת לצד גידול בשוק תחליפי בשר חדשניים מהצומח וקייטון בצריכת בשר 'קונבנציונלי'.

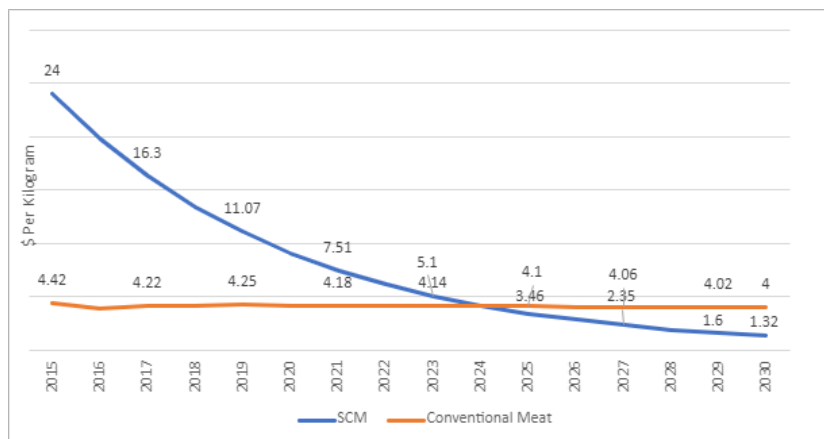
איור 6: צריכת בשר ותחליפי בשר בשוק העולמי במילארדי דולרים, 2025-2040 וחלקם של בשר 'קונבנציונלי', תחליפי בשר חדשניים מהצומח ובשר מתורבת בצריכה באחוזים.



מקור: עיבוד של מוסד נאמן ל-(Gerhardt et al., 2018)

במקביל חוזה חברת מחקרי השוק BCC Research ירידה חדה במחיר הבשר המתורבת בשנים הקרובות:

איור 7: תחזית למחיר ממוצע לבשר מתורבת ובשר קונבנציונלי, 2015-2030



מקור: עיבוד של מוסד נאמן ל-(Laxmi, 2019) (SCM=Synthetic (Cultured) Meat)

שוק חלבון מבוסס צמחים:

לפי חברת המחקר BCC Research ערך שוק חלבון המזון מהצומח (סויה, חיטה, אפונים (כולל חמוס)), קנולה, אורז, תפוחי אדמה ואחרים) העולמי עמד על כ-9.1 מיליארדי דולרים בשנת 2018 וצפוי לגדול לכ-13.9 מיליארדי דולרים בשנת 2023, גידול של קרוב ל-9% בתקופה. הטבלה הבאה מפרטת את הגידול הצפוי לפי סוגי חלבון.

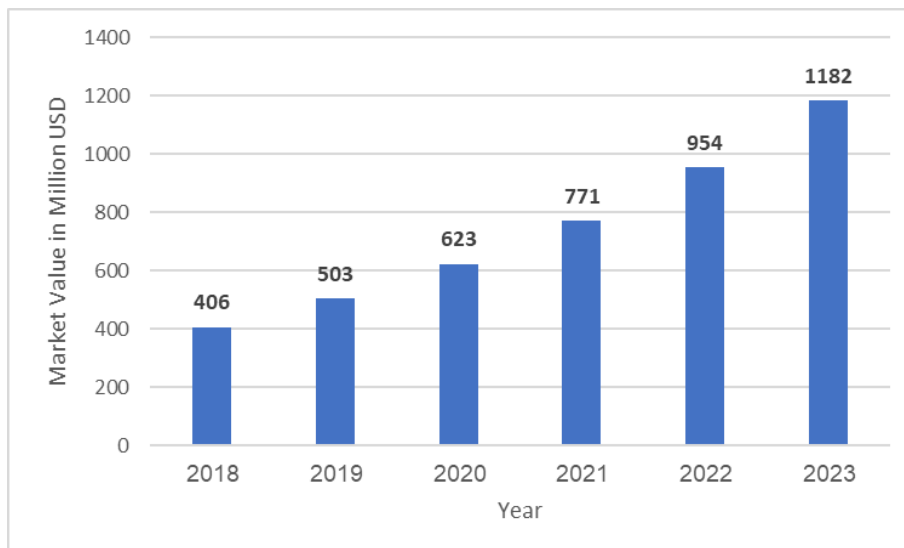
טבלה 4: גידול צפוי לפי סוגי חלבון

Product	2017	2018	2023	CARG% 2018-2023
Soy Protein Concentrates	5558.9	60444.3	9330.7	9.1
Wheat	2063	2230.6	3348.4	8.5
Pea Protein	148.9	162.4	256	9.5
Canola Protein	126.9	138	215	9.3
Potato Protein	111.9	120.6	176.7	7.9
Rice Protein	107.6	115.6	166.9	7.6
Others	298.3	318.4	443.5	6.9
Total	8415.5	9129.9	13937.2	8.8

מקור: עיבוד של מוסד נאמן ל- (Laxmi, 2020)

שוק החרקים האכילים: חרקים אכילים הינם מקור מזון בעל ערכים תזונתיים גבוהים, הן בעבור האדם והן כמזון לבקר, עוף ודגים. על-פי הערכות, לפחות 2 מיליארד איש צורכים חרקים כמזון באופן סדיר, חלקם הניכר בעולם המתפתח. בחלקים נרחבים באפריקה, אסיה ודרום-אמריקה אכילת חרקים (הניצודים מהטבע) הינה חלק מהתזונה הסדירה ואף נחשבת למעדן, ולא על רקע של מחסור בזמינותם של בשר בקר, עוף, דגים וכיו"ב. עם זאת, בתרבות המערבית (שבה מתבצעת פעילות ענפה של תרבות יצור חרקים) אכילת חרקים לרוב נחשבת כטאבו (פורטונה, ליבס, & פרוינד קורן, 2016).

איור 8: גידול צפוי בשוק החרקים האכילים



מקור: עיבוד של מוסד נאמן ל- (Yeshua, 2019)

השקעות ממשלות בעולם בתחום המזון האלטרנטיבי

הגידול הצפוי בשוק המזון האלטרנטיבי מביא ל"מרוץ לנתח שוק" (ראו למשל (Bashi et al., 2019)). תופעה זו מתגברת לאור העובדה שקצב החדירה לשוק הסיני, שהוא השוק הגדול בעולם בתחום, עדיין נמוך. בשוק ענק זה ישנה פתיחות גדולה למזון אלטרנטיבי, אולם איכות המוצרים מתוצרת מקומית וצורת השיווק שלהם לא השתנו מזה מספר עשורים. מצב זה מציב הזדמנויות רבות לחברות חדשניות בשוק שהוא כרגע עדיין פתוח

לחלוטין (Barrett, 2019). מספר ממשלות בעולם זיהו את הפוטנציאל הכלכלי והקימו תוכניות תמיכה בתחום (King & Lawrence, 2019):

- ממשלת קנדה השקיעה 153 מיליון דולר ב-Protein Industries Supercluster בכדי לפתח אלטרנטיבות מבוססות צמחים שיענו על הביקוש הגובר לחלבון שאינו מהחי. ההערכה היא כי המימון ייצר למעלה מ- 4,500 משרות חדשות במהלך 10 השנים הבאות ויוסיף 4.5 מיליארד דולר לתמ"ג בתקופה זו.
- האיחוד האירופי הכריז על 1.1.2020 כעל תאריך תחילתו של פרויקט "SMART PROTEIN" למציאת חלבון אלטרנטיבי בהשקעה של כ-9.6 מיליון יורו (European Commission, 2019)
- ממשלת גרמניה השקיעה \$M 780 למחקר באוניברסיטה הטכנית של ברלין ובמכון הטכנולוגי של קרלסרוה (Karlsruhe) בכדי לשפר את המרקם של חלופות בשר מבוססות צמחים.
- ממשלת הודו תהיה שותפה לשני מכוני מחקר חדשים שיעסקו בבשר מבוסס תאים: המכון הראשון יהיה מרכז מצוינות בתחום החקלאות התאית (Centre of Excellence in Cellular Agriculture). המכון הוא שותפות בין המכון לטכנולוגיה כימית במומבאי (מכון ממשלתי) לבין ה-Good Food Institute. המכון השני יקרא המרכז לביולוגיה סולרית ומולקולרית ומרכז החקר הארצי בנושא בשר, במימון של \$K640 מהמשרד ההודי לביוטכנולוגיה¹² (Siegener, 2019).

3.2.3 רגולציה

מזון ממקור צמחי:

• האיחוד האירופי

החל מה 1- בינואר 2018, חלה באירופה תקנה חדשה לגבי "מזון חדש" (Novel Food legislation). מטרת התקנה החדשה היא שמירה על רמה גבוהה של בטיחות מזון לצרכנים האירופים. עיקרי התקנה:

Expanded categories of Novel Foods; Generic authorisations of Novel Foods; Establishment of a Union list of authorised Novel Foods; A simplified, centralised authorisation procedure; Centralised, safety evaluation of the Novel Foods; Efficiency and transparency; A faster and structured notification system for traditional foods from third countries; Promotion of innovation (European Commission, 2018)

• ארה"ב

ה-FDA פרסם הנחיות לתעשייה למזון שמקורם בזנים חדשים של צמחים. בהתאם לנסיבות, הערכת הבטיחות של חלבון שהוצג צריכה להיות מבוססת על:

Presence and level in the food product; Origin; Known or suspected allergenicity; Evidence of consumption in other foods at similar levels and under similar conditions of processing (e.g., eaten, cooked or uncooked); Effects of processing (e.g., cooking); Biological function; Known or potential toxicity; Chemical differences and similarities to edible proteins; The presence of host-specific posttranslational modifications (Laxmi, 2020)

בשר מתורבת:

תחום הבשר המתורבת רק התחיל את תהליך אישורו ברוב גופי הרגולציה הרלוונטיים בעולם. בארה"ב, למשל בשר מתורבת נדרש נכון להיום לעמוד במספר לא מבוטל של תקנות ובהן (אך לא רק):

- The Federal Meat Inspection Act (USDA's Food Safety and Inspection Service (FSIS))
- Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories (Centers for Disease Control (CDC) and the National Institutes of Health (NIH))

<http://dbtindia.gov.in/>¹²

- General Biological Products Standards (Food and Drug Administration)
- Cell and Tissue Culture Products (Food and Drug Administration)

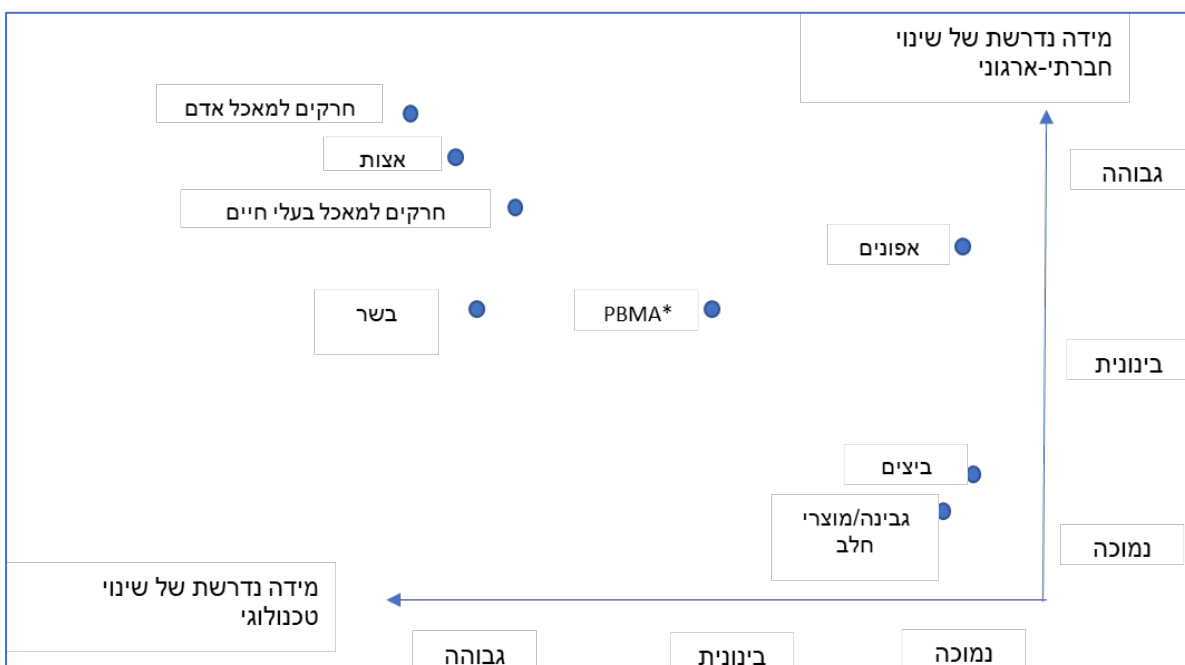
(Laxmi, 2019)

בנובמבר 2018 מחלקת החקלאות האמריקאית (USDA) וה-FDA הסכימו לבחון במשותף את התחום הרגולטורי בנושא בשר מתורבת בדרך למציאת המסגרת החוקית שתאפשר הפצה מסחרית של מוצרים בטכנולוגיה זו, (Gerhardt et al., 2019)

3.2.4 אתגרי שוק

(van der Weele, Feindt, Jan van der Goot, van Mierlo, & van Boekel, ואחרים, 2019) ריכזו את הפרמטרים לגבי מצב השוק כיום ומצב השוק הצפוי בעתיד (ראו נספח). ניתן לחלק את האתגרים לאתגרים טכנולוגיים ואתגרים חברתיים-מוסדיים/חוקיים. האיור הבא ממפה את מצבם של סוגים שונים של מקורות מזון חדשים מבחינת אתגרים אלו:

איור 9: דרגת השינוי החברתי-מוסדי והטכנולוגי הנדרשת עבור מקורות מזון חדשים שונים:



PBMA=Plant Based Meat Alternatives
מקור: עיבוד של מוסד נאמן ל-(van der Weele et al., 2019)

3.3 תחום מקורות המזון האלטרנטיביים בישראל

תרבות החדשנות, קיומן של תשתיות מחקר קריטיות ועלייה בביקוש למזון מהצומח מביאים את ישראל לעמדה שבה היא יכולה לשמש זרז לקידום שווקי המזון מהצומח והבשר המתורבת העולמיים (Benjamin, 2018). חברות ישראליות נמצאות בחזית הטכנולוגיה ומציגות גיוסי הון משמעותיים גם ברמה הבינלאומית. חברות ישראליות בתחומים כמו בשר מתורבת, הפקת חלבונים מחומס, טיפוח זני צמחים עשירים בחלבונים, ייצור כדוריות מים למאכל ועוד נחשבות לפורצות דרך ומובילות במחקר ברמה עולמית, וההשקעה הממשלתית בתחום "עולה רמה" בימים אלו עם ההקמה של החממה הטכנולוגית בתחום המזון בנפת צפת, שתקציבה צפוי לעמוד על כ-100 מיליון ₪ (פירוט על החממה בסעיף 3.4 להלן).

3.4 תמיכה ממשלתית בתחום

חממה טכנולוגית בתחום המזון בנפת צפת

בחדש יוני 2019 הודיעה רשות החדשנות כי בחרה ב-Fresh Start (לשעבר ספארקס פוד-טק), בבעלות תאגידי המזון והמשקאות תנובה וטמפו וקרנות ההשקעה OurCrowd ו-Finistere האמריקאיות, כזוכה בהליך להקמת והפעלת חממה טכנולוגית בתחום המזון בנפת צפת שתכלול מתחם מיקרו תעשייה, מכון מחקר וחדשנות מזון וקהילות חדשנות. החממה תקלוט ותקדם חברות הזנק בתחום טכנולוגיות המזון לכל אורך שרשרת הערך והאספקה של מזון ומשקאות הכולל את הדור הבא של מזון ומשקאות, יעילות גידולים חקלאיים, שמירה על טריות מזון ומשקאות, עיבוד מזון ומשקאות, ייצור מזון ומשקאות, בטיחות מזון ומשקאות, התאמה לצרכני מזון ומשקאות, פלטפורמות אספקה ומכירות מזון ומשקאות לצרכנים (רשות החדשנות, 2019). במהלך תקופת הזיכיון, ישקיעו חברות התאגיד בחברות הזנק חדשות על-ידי מינוף השקעתם באמצעות מענק של רשות החדשנות בשיעור 85% לכל חברה ועד לסכום מצטבר של כ-6 מיליון ₪ לכל חברה לתקופה של 3 שנים (רשות החדשנות, 2019a). סה"כ צפויה ההשקעה ביוזמה להגיע לכ-100 מיליון ₪.

¹³The Kitchen- FoodTech hub

החממה הוקמה באשדוד ב-2015, ביוזמת רשות החדשנות וחברת שטראוס. בין הפיתוחים שנבחרו לפיתוח וקידום בחממה: יוגורט טבעי ללא חלב, שבב חדשני שמזהה נוכחות חיידקים במזון וחלבון עשיר שעשוי מזחלי זבוב (רשות החדשנות, 2017). בין החברות שקיבלו תמיכה במסגרת החממה ניתן למצוא את: Aleph Farms (גידול רקמות בשר מתאים), Zero Egg (תחליף ביצה צמחי), Yofix Probiotics (תחליף יוגורט טבעוני), Rilbite (תחליף בשר טבעוני, גייסו כ-\$540K מהחממה ומרשות החדשנות), Amai Proteins (תחליפי סוכר מבוססי חלבון טבעי, גייסו כ-\$850K מהחממה ומרשות החדשנות) ו-Flying SpArk (חלבון מבוסס זבובי פירות, גייסו כ-\$500K במסגרת החממה).

מעבדת חדשנות ¹⁴FoodNxt

מסלול מעבדות לחדשנות טכנולוגית של רשות החדשנות מיועד ליזמים בראשית דרכם הזקוקים לתשתיות ולמומחיות ייחודיים לצורך הוכחת היתכנות של רעיון טכנולוגי ולתאגידים המעוניינים לשתף פעולה עם סטארטפים בישראל. הסיוע ניתן באמצעות מעבדות לחדשנות שמופעלות על ידי תאגידים מובילים בתחום, במודל של חדשנות פתוחה. חברת פרוטרם מובילה את מעבדת חדשנות FoodNxt בתחום ה-FoodTech. לאחרונה, נכנסה חברת Nutrilees לפרוטופוליו של FoodNxt במסגרת מסלול מעבדות חדשנות של רשות החדשנות. Nutrilees מפתחת תהליך להפקת חלבון מבוצת השמרים של תעשיית היין והבירה המהוות כיום פסולת ומפגע סביבתי, כמקור מזון חדש.

3.5 משקיעים

שנת 2019, מסתמנת כשנת מפנה בהיקף גיוסי ההון של חברות ישראליות העוסקות במקורות מזון אלטרנטיביים. לפי Startup Nation Central, הצפי הוא לגיוס של כ-52 מיליון דולרים עד סוף שנה זו לעומת כ-13 מיליון דולרים שגויסו בשנת 2018 (איור 10).

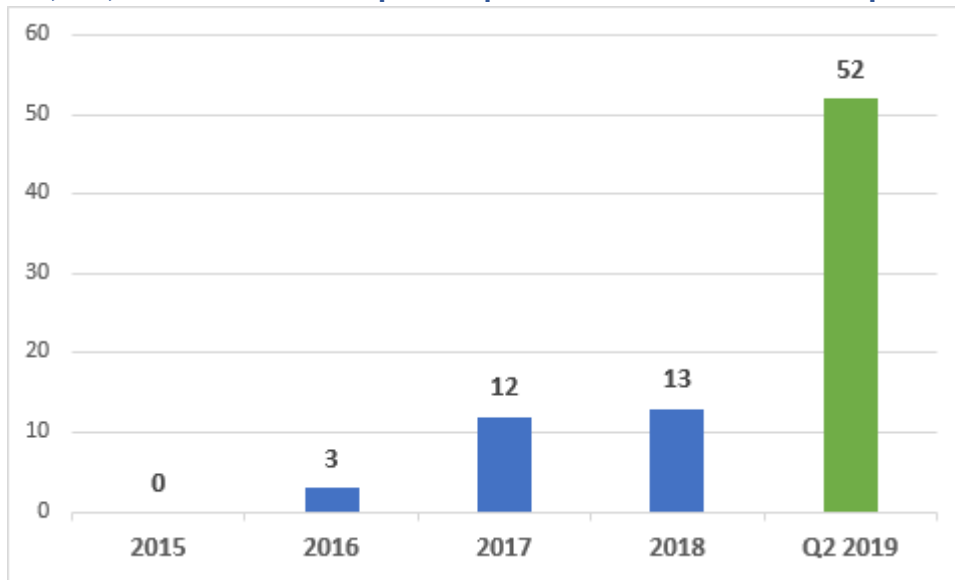
Future Meat (גידול רקמת שריר שלמה) Aleph Farms והחברות המובילות בגיוסי הון בשנת 2019 הן העוסקות בגידול תאי עוף SuperMeat, (גידול תאי שומן ושריר). חברות אלו ביחד עם חברת Future Meat Technologies בשנתיים האחרונות. נכון להיום, ישראל היא מהמובילות בעולם במספר החברות שהודיעו מגייסו ביחד כ-30 \$ על גיוס הון בתחום הבשר המתורבת)

¹³ <https://www.thekitchenhub.com/>

¹⁴ <https://foodnxtlab.com/>

איור 11 (טבלה 5). בין המשקיעים העיקריים בתחום אפשר למצוא ענקיות מזון כמו PHW הגרמנית ו- Tyson Foods האמריקאית.

איור 10: גיוסי הון של חברות טכנולוגיה בתחום מקורות מזון אלטרנטיביים בישראל, \$M, 2015-2019



מקור: עיבוד של מוסד נאמן ל-2019, Rausnitz

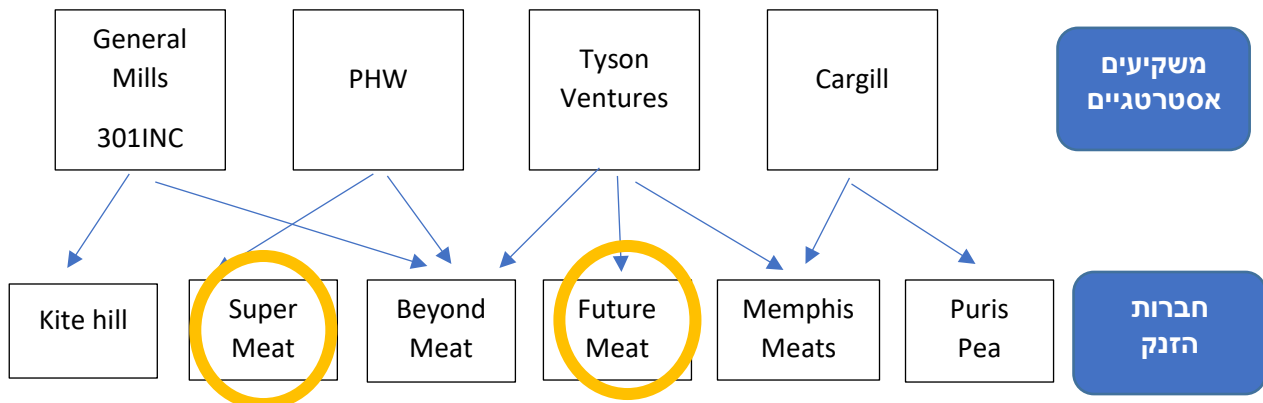
איור 11: חברות בתחום הבשר המתורבת (בשר ממקור תאי) בעולם שהודיעו על גיוסי הון (עד שנת 2018) לפי מדינות*:

Wild type	Wild Earth	Memphis	New Age Meats	Mission Barns	JUST, Inc	Finless foods	BluNalu	ארה"ב
					Super Meat	Future Meat	Aleph harms	ישראל
						Mosa Meat	Meatable	הולנד
							Cubiq Foods	ספרד
							Integriculture	יפן

מקור: (Cameron & Shannon, 2019)

*חברות נוספות שלא הודיעו על גיוס הון נמצאות בקנדה, סין, צרפת, הודו, סינגפור, תורכיה ואנגליה.

איור 12: משקיעים אסטרטגיים באקוסיסטם העולמי בתחום הבשר המתורבת (בשר ממקור תאי)*



מקור: עיבוד של מוסד נאמן ל (Bogin, 2018)
* בעיגול צהוב: חברות ישראליות.

משקיעים ישראלים בתחום ה-FoodTech¹⁵

לפי נתוני Startup Nation Central Finder, בישראל פועלות כיום כ-26 חברות השקעה בתחום ה-FoodTech (אינקובטורים, הון סיכון והון פרטי), אך רק בודדות מהן השקיעו בתחומי המזון האלטרנטיביים ובהן FoodLab (Innovopro) Capital, Agrinovation¹⁶, (ChikP, Future Meat Technologies) ו-The Kitchen FoodTech Hub (Amai Proteins, Rilbite, Flying Spark).

מאיצים ותוכניות יזמות ישראליות בתחום ה-Food-Tech¹⁵

לפי נתוני Startup Nation Central Finder, בישראל פועלים היום 9 מאיצים (accelerators) בתחום ה-FoodTech, מתוכם 2 מאיצים זרים (במימון אירופאי ובינלאומי)¹⁷, 5 מאיצים ישראלים¹⁸ ו-2 מאיצים של חברות ישראליות (כיל¹⁹ ופרטרום). כמו כן, ישנן 6 תוכניות יזמות, ובהן FacuTech (פקולטה לחקלאות ברחובות של האוניברסיטה העברית שממנה נבטה חברת Kinoko-Tech (חלבון אלטרנטיבי מבוסס פטריות).

3.6 תעשייה

חברות הזנק

נכון לדצמבר 2019, פועלות בישראל כ-20 חברות הזנק העוסקות בתחיליפי חלבון ו/או תחיליפי מנות מהחי מרכיבים חדשניים, בשר מתורבת (בשר על בסיס תאי) וחרקים לצורך מאכל²⁰ (וזאת בתוך כ-245 חברות הזנק העוסקות ב-FoodTech בישראל, בתחומים כמו הדברת מזיקים, אריזה, הובלה, שיווק ועוד (לפי נתוני SNC).

להלן מיפוי 26 חברות הזנק פעילות לפי תחומים:

¹⁵ תחום ה-foodTech בכללותו, שיכול לכלול גם מזון אלטרנטיבי.
¹⁶ Agrinovation is a unique independent agricultural investment fund with exclusive licensing and commercialization rights on all inventions and innovations developed from the world renowned Hebrew University Faculty of Agriculture, Food and Environment (<http://www.agri-nnovation.com/>) (HU)
¹⁷ EIT Food Accelerator Network (<https://www.eitfan.eu/>) ו-Bridge Hub (<https://thebridgehub.co/>)
¹⁸ XLR8 (<https://maoftech.org.il/accelerator/kiryat-shmona/>) TheHive by Gvahim, (<https://www.thehivebygvahim.org/>) The ACT Hub, (<https://www.theacthub.com/>) Eilat Food Tech Accelerator, (<http://techforgood.co/israel/>) ו-TechForGood (<https://www.eilatfoodtech.com/>)
¹⁹ יש לציין כי בדו"ח חברת כיל הודיעה גם היא על פיתוח טכנולוגיית עיבוד חדשנית מאפשרת את ייצורם של מוצרי תחיליפי בשר (מערכת תרכובות Rovitaris הכוללת חלבון (אבקות וחומרי מרקם) ותוספי מזון פונקציונליים, שלהם יש להוסיף מים ושמן בלבד. בנוסף, מוצעים פתרונות צמחוניים, טבעוניים וכן נטולי-אלרגנים (כיל, 2018).
²⁰ מתוך 28 חברות המתיוגות במאגר המידע Startup Nation Central finder בתגית foodtech וגם בלפחות אחת מהתגיות הבאות: proteins, plant-protein, protein-based, alternative-protein, sustainable-protein, recombinant-proteins, functional-proteins.

טבלה 5: חברות טכנולוגיה בתחומי מקורות מזון חדשים

קטגוריה	שם החברה (תחום עיסוק)
בשר מתורבת	<ul style="list-style-type: none"> Future Meat Technologies (Non-GMO Production of Meat from Animal Cells) SuperMeat (Clean Chicken Meat) Aleph Farms (Cultured Whole-muscle Beef) Biofood Systems (inactive) (Meat Culturing Technology using bovine embryonic stem cells)
אצות וצמחי מים	<ul style="list-style-type: none"> Seakura - Sea of Life (Cultivating Clean Seaweed) Hinoman (Cultivation Systems for Protein-rich Mankai) UniVerve (Micro-algae Biomass Production for Feedstock) Abundance Enterprises* (Spirulina Production) Yemoja (Industrial Microalgae Production) AlgaeMor (Micro-algae Production) GreenOnyx (An aquatic wholesome super vegetable, Green Caviar) Algaenovation (indoor micro-algae cultivation for the production of omega-3)
חלבון מבוסס חרקים	<ul style="list-style-type: none"> Hargol FoodTech (Commercial Grasshopper Farm) Flying SpArk (Fruit Fly Larvae-derived Protein)
חלבון מבוסס פטריות	<ul style="list-style-type: none"> Kinoko-Tech (Mushroom-based Alternative Protein)
חלבון מבוסס חמוס	<ul style="list-style-type: none"> InnovoPro (Chickpea Protein Concentrate) ChickP (Chickpea-based Concentrate and Isolate)
תחליפי סוכרים מבוססי חלבון	<ul style="list-style-type: none"> Low2No (Proteins for Creating Low-calorie Sugars) Amai Proteins (Sweet Designer Proteins as a Sugar Substitute)

* בשלבי סגירה.

בנוסף לאלו פועלות גם חברות הזנק התומכות בייצור חומרי מזון חדשניים כמו FreezeM (טכנולוגית הקפאת וייצור חרקים), SavorEat ו-MeaTech, Redefine Meat (הדפסת תלת מימד של מוצרי) ואחרות.

חברות בינלאומיות

לפי Startup Nation Central Finder, שתי החברות הבינלאומיות המשמעותיות בתחום ה-FoodTech שלהן מרכזי מחקר וחדשנות בישראל הן Nestle ו-Unilever. חברת Anheuser-Busch InBev (יצרנית מותגי בירה מובילים כמו באדוויזר, קורונה, סטלה ארטוואר ועוד) הקימה מרכז מחקר בתחום הסייבר ומדעי הנתונים, אך מתכוונת להרחיב את הפעילות גם לתחומי ה-FoodTech וה-AgTech.

3.7 אקדמיה ומכוני מחקר

מניתוח מדדים ביבליומטריים בתחום עולה כי לא קיימת עדות להיקף משמעותי של פרסומים באוניברסיטאות בישראל בתחומי מקורות המזון החדשים. עם זאת, מספר חוקרים בכירים באקדמיה מקושרים עם חלק מהחברות המובילות בתחום (בעיקר בתחום הבשר המתורבת), ומכאן ניתן לשער שהמחקר בתחום זה מתבצע במידה רבה בחברות הסטארט-אפ, אולי בגלל אופיו האפליקטיבי, ומכיוון שלפחות בחלק מהמקרים הפיתוחים בתחום מקורות המזון החדשים מבוססים על ידע שנוצר בתחומים. להלן דוגמאות לחוקרים בכירים באקדמיה שקיימת זיקה בינם לבין חברות בתחום (רשימה חלקית שאינה ממצה את כלל החוקרים באקדמיה בתחומים השונים):

חוקרים באקדמיה בעלי זיקה לחברות בתחום הבשר מתורבת:

- פרופ' שולמית לבנברג (דיקנית הפקולטה להנדסת ביו-רפואה בטכניון ו-CSO ב-Aleph farms)
- פרופ' קובי נחמיאס (המחלקה לביו-הנדסה, האוני' העברית ומייסד ו-CSO של Future Meat Technologies, שהיא spin-off של חברת העברת הטכנולוגיה של האוני' העברית (יישום))

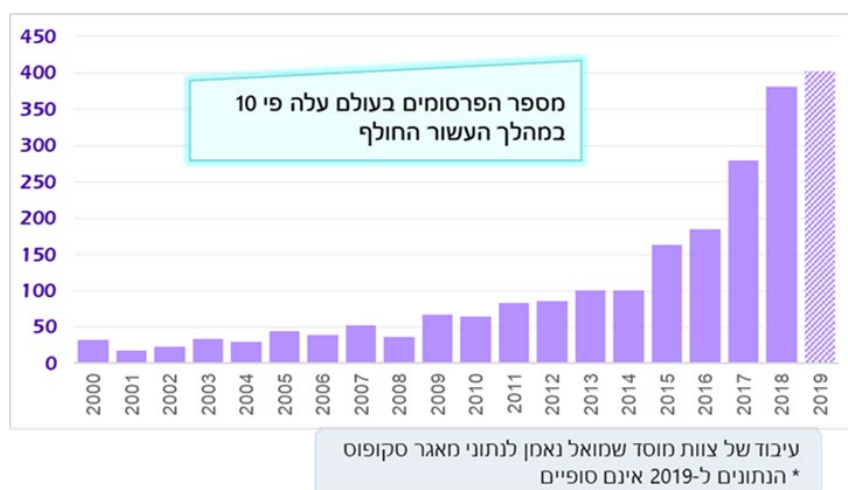
חוקרים באקדמיה בעלי זיקה לחברות בתחומים אחרים של מקורות מזון אלטרנטיביים:

- פרופ' רם רייפן (הפקולטה לחקלאות מזון וסביבה, האוניברסיטה העברית ו-Founder ב-Chick-P)
- פרופ' עודד שוסייב (הפקולטה לחקלאות מזון וסביבה, האוניברסיטה העברית ו-Co-founder & CSO ב-SavorEat)
- פרופ' עידו ברסלבסקי (הפקולטה לחקלאות מזון וסביבה, האוניברסיטה העברית ו-Co-founder & ב-SavorEat)
- ד"ר מאיר שליסל (המכללה האקדמית תל חי & Co-founder ב-Nutrilees)

3.8 מדדים ביבליומטריים- פרסומים מדעיים

בשנים 2008-2000 מספר הפרסומים המדעיים בעולם בתחום המזון האלטרנטיבי, קבוע ונמוך יחסית. משנת 2009 ואילך מסתמן גידול עקבי ומשמעותי במספר הפרסומים²¹:

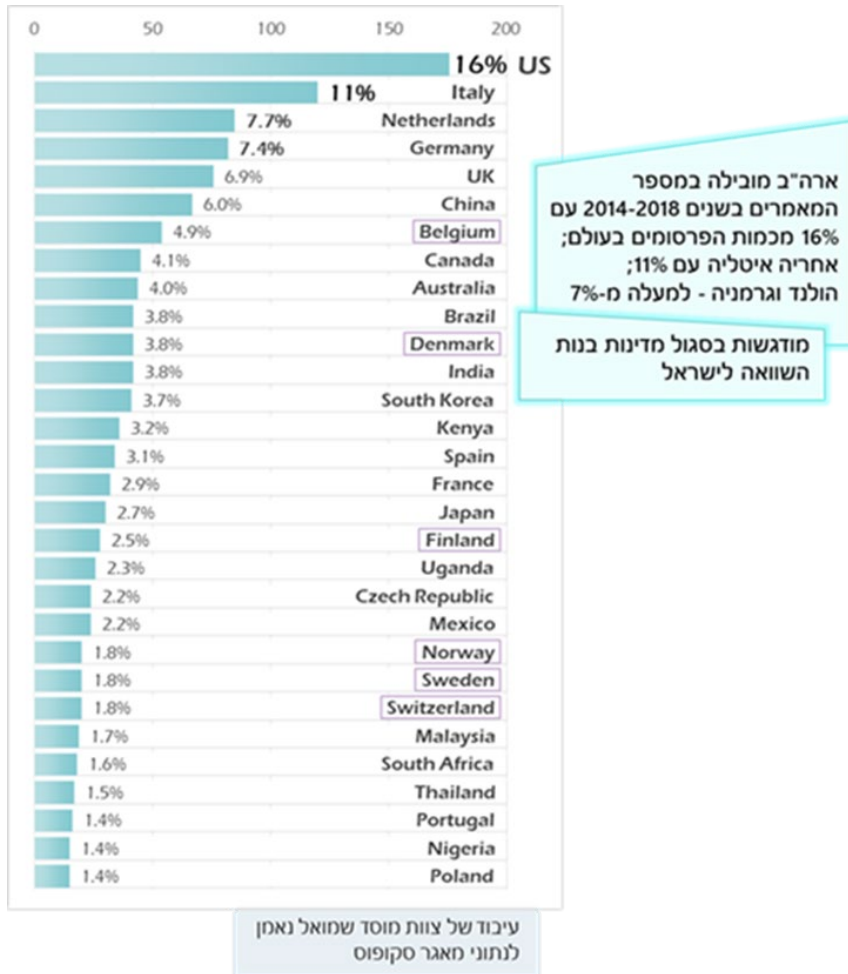
איור 13: מספר הפרסומים בעולם בשנים 2000-2019



כפי שניתן לראות באיור הבא, ישראל איננה מהמדינות המובילות בעולם בפרסומים בתחום המזון האלטרנטיבי. מבדיקה עולה שב-5 השנים החולפות פורסם מאמר אחד בכל שנה על ידי חוקר ישראלי, ובשנת 2019 חל גידול ל-7 מאמרים. לאור המובילות של התעשייה בישראל בחלק מהתחומים השייכים למזון אלטרנטיבי ניתן לשער שהמחקר בתחום מתבצע ברובו בתעשייה, אך נדרשת בחינה מעמיקה יותר (באמצעות ראיונות) על מנת לבדוק את הסיבות למיעוט הפרסומים בתחום של חוקרים מישראל.

²¹ Cultivated food” OR “Cultivated Beverage” OR “Cultured meat” OR “Cell based Meat” OR “Meat analogue” OR “Meat analog” OR “Clean Meat” OR “in vitro food” OR “Alternative protein” OR “sustainable protein” OR “Lab grown Meat” OR “Animal free Food” OR “Edible Insects” OR “Edible Insect” OR “Insect Meal” OR “food printing”

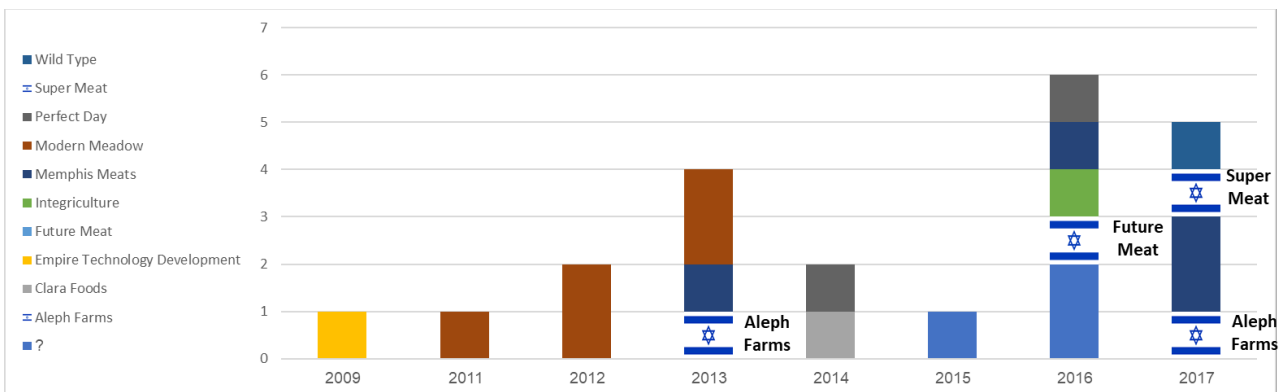
איור 14: 30 המדינות המובילות במספר הפרסומים בשנים 2014-2018



3.9 בקשות לפטנטים

לפי Yaman (2019), מתוך 22 בקשות לפטנטים (משפחות פטנטים) שהוגשו בעולם בשנים 2009-2017, 4 בקשות לפטנטים הן של חברות ישראליות (קרוב ל-20%), והשאר של חברות אמריקאיות או חברות שאין מידע לגבי מיקומן (3 חברות). החברות המובילות במספר הפטנטים הן Aleph Farms (2 פטנטים בתקופה Future-Meat), עם פטנט אחד בתקופה לכל אחת.

איור 15: פטנטים בתחום הבשר המתורבת (active ו- pending) בשנים 2009-2017



3.10 היתרונות של ישראל בתחום המזון האלטרנטיבי

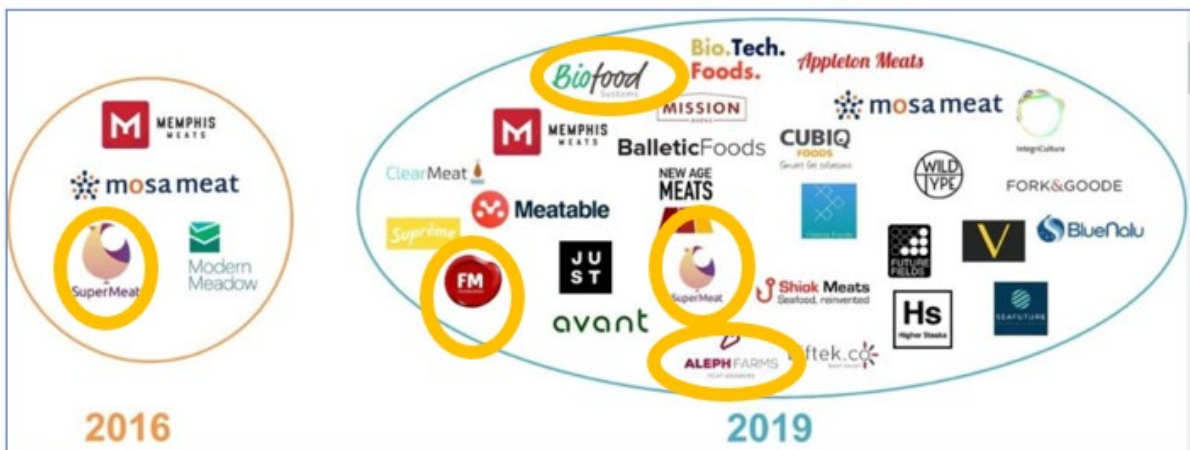
לפי סקירה של רשות החדשנות (Israel Innovation Authority, 2019) חלים לאחרונה שינויים משמעותיים בשוק המזון העולמי הנובעים ממספר סיבות: גידול בביקוש למזון ללא כימיקלים וחומרים משמרים, הבנה גדלה של ההשפעות הסביבתיות השליליות של חקלאות במדינות מתפתחות, שינויים בשרשרת האספקה שנובעים מהתקדמות בתחומי המחשוב והמידע וגידול האוכלוסייה המביא לגידול כללי בביקוש למזון ומשקאות.

לישראל יתרונות יחסיים בתחום המזון האלטרנטיבי הנובעים בין השאר מיכולת של חוקרים ישראלים לעבוד עם חוקרים אחרים במחקר מולטידיסציפלינרי וממוניטין עולמי של חדשנות בתחום החקלאות. השוק המקומי הוא שוק קטן, אך כ-13% מהאוכלוסייה הם צמחונים (שיעור בין הגבוהים בעולם), וקיימת פתיחות לנסות פתרונות שונים בתחום זה (Press, 2019).

להלן חלק מהיתרונות של ישראל בתחום המזון האלטרנטיבי לפי תחומים:

בשר מתורבת: בישראל קיים אקו-סיסטם מגובש בתחום זה הכולל מחקר (כולל שיתוף פעולה בין האקדמיה לתעשייה), משקיעים מהארץ ומהעולם, חברות מזון מקומיות ובינלאומיות, חברות הזנק ותמיכה ממשלתית. התוצאה היא נוכחות מרשימה בשוק שהולך ומתגבש (ראו איור 16).

איור 16: גידול במספר חברות הבשר המתורבת בעולם בין השנים 2016 ל-2019*



מקור: עיבוד של מוסד נאמן ל-2019, Dent

*חברות ישראליות מסומנות בעיגול צהוב.

חלבון מהצומח היתרון של ישראל בתחומים אלו הוא בעיקר בתחום חומרי הגלם כמו למשל חלבון המופק מפטריות (דוגמא לחברה בתחום: Kinoko-Tech), חימצה (חומס) (דוגמא לחברות בתחום: InnovoPro, ChickP), צמח המים מנקאי (דוגמא לחברה בתחום: Hinoman) ועוד. בנוסף לפחות שתי חברות עוסקות בהדפסת תלת מימד של תחליף בשר ממקור צמחי, ואחת מהן, Redefined meat, גייסה כ-\$6M במהלך השנה החולפת להשלמת הפיתוח.

חרקים למאכל: היישומים השונים של חרקים בשירות האדם מהווים דוגמא טובה לקו המקשר בין מספר מוקדים של יתרונות יחסיים שיש לישראל, בכך שהם דורשים אינטגרציה וסינרגיה בין ידע שבמקור נועד לשרת את תחום החקלאות, לדוגמא, ובין ידע בתחומי הכימיה והרפואה; היכולת ליצור חיבור שכזה היא נקודת חוזקה מאפיינת של ישראל, וביכולתה להיות "game-changer" עולמי בתחומים בהם תמומש. מסקירה בינלאומית וראיונות שקיים מוסד נאמן עם אנשי מפתח בתחום, ניכר כי תחומי החרקים לחקלאות ולמזון הם בעלי הפוטנציאל הגדול ביותר בטווחי הזמן המידי עד הבינוני. ראוי לציין שתחום המזון בישראל צפוי להיות מאד מוגבל מסחרית בגלל מגבלת כשרות של מירב סוגי המזון מחרקים (פורטונה et al., 2016).

3.11 נספח 1: השוואת אתגרים והזדמנויות של מקורות מזון חדשים מסוגים שונים

טבלה 6: השוואת אתגרים והזדמנויות של מקורות מזון חדשים מסוגים שונים

המצב הקיים:

Dimension	Cultured meat	Algae	Insects	Plant-based meat alternatives	Pulses
Technological	Proof-of-principle 2013. Ongoing research and development at laboratory stage.	Growing and processing under research, many challenges	Currently small scale and labour intensive	Use of purified ingredients, increased efforts to improve meat resemblance	Farming methods established. Breeding efforts decreased ('neglected crop').
Consumption and lifestyle	Vision: proper meat produced without animal suffering. Potentially also experimental and enriched products.	Novel. Green product colour and market profile.	Depends on products: extracted protein inconspicuous, whole insects not accepted in Western countries.	Established as vegetarian alternatives replacing meat. Complementary to Western fibre-poor diets.	Familiar but widely associated with low income.
Supporters and opposition	Attracts venture capitalists and entrepreneurs in Silicon Valley, animal welfare organisations and other innovators. Emerging interest from meat industry.	Pioneering companies and scientists, no consolidated coalition.	Most interest so far from feed industry. Retail sits on the fence.	Mix of alternative retail sector, start-ups and meat companies, also experiments with hybrids of PBMA/meat	Economically inferior for most producers. Recent initiatives for cultural re-invention (e.g. FAO)
Legal and institutional framework	Food regulation: FDA/USDA coregulation (USA); novel food regulation (EU)	Food regulation: algae products might be treated as 'novel food'.	Food regulation may be a barrier	Issues unlikely	Established, no issues

תחזית:

Dimension	Cultured meat	Algae	Insects	Plant-based meat alternatives	Pulses
Technological	Substantial R&D needed for cell and tissue development, scaling up, finding growth medium and product development	Substantial R&D needed for harvesting, protein extraction (digestibility) and de-greening. <i>Very significant off-flavor removal challenge.</i>	Scaling up and mechanisation and R&D for increasing energy efficiency. <i>R&D for texturized form of the protein</i>	R&D to allow for less purified materials and improved mimicking of meat. <i>R&D for texturized form of the protein</i>	Well established. Yield, resistance and induced flatulence could be improved through breeding and agronomy
Organisational and institutional	Significant investments and organisational coordination needed for product quality and safety; potential disruption of traditional meat production systems.	Significant investments needed, also for optimisation of main and side products. Complex organisation for scaling up. Food safety regulation.	Stable and competitive value chains need to be formed	Can use established organisations and institutions. Markets to be developed with novel products.	Well established
Potential future supporters and opposition	Part of meat industry extending their product portfolio. Consumer support depends on framing. Possible resistance from animal-based meat producers and farmers.	Algae for food probably remote until digestibility issues solved. <i>production price is also a major setback until solved</i>	Consumer acceptance of whole insects very challenging	Part of meat industry extending their product portfolio. Push-back from meat producers likely if perceived as threat to market share.	Broad but relatively marginal coalition. Initiatives for increased consumer support. Outright opposition unlikely.

מקור: (van der Weele et al., 2019) (בכתב נטוי- הערות נוספות של ד"ר יאיר בזמן)

3.12 מקורות לפרק מקורות מזון אלטרנטיביים

- Barrett, E. (2019). China offers plant-based meats a huge market. Retrieved November 24, 2019, from <https://fortune.com/2019/10/05/plant-based-meats-china-impossible-beyond/>
- Bashi, Z., McCullough, R., Ong, L., & Ramirez, M. (2019). Alternative proteins: The race for market share is on. Retrieved November 6, 2019, from <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/alternative-proteins-the-race-for-market-share-is-on>
- Benjamin, O. (2018). Harnessing the Startup Nation for Good Food Innovation. Retrieved November 12, 2019, from <https://www.gfi.org/gfi-applauds-joint-statement-from-usda-fda>
- Bogin, Y. (2018). The Good Food Institute and Israeli Clean Meat Innovation. Retrieved from [https://www.ey.co.il/userfiles/2_dr_yaron_bogin\(2\).pdf](https://www.ey.co.il/userfiles/2_dr_yaron_bogin(2).pdf)
- Cameron, B., Neill, S. O., & Bushnell, C. (2019). Industry Report: Plant-based Meat , Eggs , and Dairy.
- Cameron, B., & Shannon, O. (2019). State of the Industry Report, Cell-based Meat.
- Dent, M. (2019). Plant-based and Cultured Meat 2020-2030. Retrieved November 13, 2019, from <https://www.idtechex.com/en/research-report/plant-based-and-cultured-meat-2020-2030/702>
- European Commission. (2018). Legislation | Food Safety. Retrieved from https://ec.europa.eu/food/safety/biosafety/irradiation/legislation_en
- European Commission. (2019). Smart Protein for a Changing World. Retrieved November 24, 2019, from <https://cordis.europa.eu/project/rcn/225172/factsheet/en>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). Insects for food and feed. Retrieved from <http://www.fao.org/edible-insects/en/>
- Gerhardt, C., Suhlmann, G., Ziemßen, F., Donnan, D., Warschun, M., & Kühnle, H.-J. (2019). How Will Cultured Meat and Meat Alternatives Disrupt the Agricultural and Food Industry? Retrieved from <https://www.atkearney.com/retail/article/?/a/how-will-cultured-meat-and-meat-alternatives-disrupt-the-agricultural-and-food-industry>
- Gerhardt, C., Ziemben, F., Warschun, M., Suhlmann, G., Donnan, D., & Kuhnle, H.-J. (2018). How Will Cultures Meat and Meat alternatives Disrupt the Agricultutal and Food Industry. Retrieved from <https://www.atkearney.com/documents/20152/2795757/How+Will+Cultured+Meat+and+Meat+Alternatives+Disrupt+the+Agricultural+and+Food+Industry.pdf/06ec385b-63a1-71d2-c081-51c07ab88ad1?t=1559860712714>
- Griffiths, M., Harrison, S. T. L., Smit, M., & Maharajh, D. (2016). Major Commercial Products from Micro- and Macroalgae (pp. 269–300). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12334-9_14
- Holban, A. M., & Grumezescu, A. M. (2018). Alternative and Replacement Foods. Alternative and Replacement Foods (Vol. 17). <https://doi.org/10.1016/C2016-0-00621-6>

Israel Innovation Authority. (2019). Israel Innovation Authority Report: The Potential of Israeli Foodtech. Retrieved November 13, 2019, from <https://innovationisrael.org.il/en/news/israel-innovation-authority-report-potential-israeli-foodtech>

King, T., & Lawrence, S. (2019). Meat the Alternative. Retrieved from <https://www.foodfrontier.org/wp-content/uploads/2019/09/Meat-the-Alternative-Food-Frontier.pdf>

Lagally, C., Rees Clayton, E., & Specht, L. (2017). Plant-Based Meat Mind Maps: An Exploration Of Options, Ideas, and Industry. Retrieved from <https://www.gfi.org/files/PBMap.pdf>

Laxmi, V. (2019). Synthetic (Cultured) Meat : Technologies and Global Markets.

Laxmi, V. (2020). Plant-Based Protein : Global Markets.

McCracken, christine. (2018). Alternative Proteins: Hype or Hope. Retrieved November 17, 2019, from <https://www.pork.org/wp-content/uploads/2018/04/Key-to-Food-Security-Christine-McCracken.pdf>

Press, G. (2019). Want To Invest In The Next Beyond Meat? Check Out The 252 Foodtech Startups In Israel. Forbes. Retrieved from <https://www.forbes.com/sites/gilpress/2019/07/29/want-to-invest-in-the-next-beyond-meat-check-out-the-252-foodtech-startups-in-israel/#410d08884c82>

Ranghar, S., Agrawal, S., & Agrawal, P. K. (2019). Microbial Products: Protein, Enzyme, Secondary Metabolites and Chemicals. In *Microbial Interventions in Agriculture and Environment* (pp. 347–384). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9084-6_17

Rausnitz, S. (2019). Start-Up Nation Central Finder Insights Series:Israel's Agrifood-Tech Sector, 2019.

Siegner, C. (2019). Could India become the next cell-cultured meat hub? Retrieved November 24, 2019, from <https://www.fooddive.com/news/could-india-become-the-next-cell-cultured-meat-hub/554578/>

Suganya, T., Varman, M., Masjuki, H. H., & Renganathan, S. (2016). Macroalgae and microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels production: A biorefinery approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 909–941. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.11.026>

van der Weele, C., Feindt, P., Jan van der Goot, A., van Mierlo, B., & van Boekel, M. (2019). Meat alternatives: an integrative comparison. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 505–512. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.04.018>

Yaman, R. (2019). Cultured Abundance. Retrieved November 14, 2019, from <https://www.culturedabundance.com/>

Yeshua, I. (2019). Edible Insects Market. Retrieved December 31, 2019, from <https://medium.com/forwardfooding/edible-insects-market-465217ae4774>

פורטונה, ג., ליבס, ע., & פרוינד קורן, ש. (2016). חרקים בשרות האדם, רקע והמלצות לפעולה לעיר עפולה. Retrieved from <https://www.neaman.org.il/Files/6-468.pdf>

. Retrieved November 11, 2019, from חם ממטבחי חממת הפוד-טק (2017).
<http://innovationisrael.mag.calltext.co.il/magazine/51/articles/757>

! Retrieved November 11, 2019, from מדינת ישראל מעצמה טכנולוגית גם בתחום המזון (2019a).
https://innovationisrael.org.il/press_release/4441

רשות החדשנות (2019b). קול קורא להצעות עבור הקמת חממה טכנולוגית חדשה בתחום טכנולוגיות המזון
(פודטק) בנפת צפת-קול. Retrieved November 11, 2019, from <https://innovationisrael.org.il/kol-צפת-kore/3965>

4 תקשורת לוויינים

תודתנו לאבנר קידר, מוטי חיימוביץ ואבי בלסברגר, על הראיונות שקיימנו איתם בנושא ולעופר גולדהירש מרשות החדשנות על הערותיו ועל עזרתו במיקוד הסקירה.

4.1 תקשורת לוויינים – רקע

החלל הוא משאב אסטרטגי והפעילות האנושית בחלל מהווה מנוף טכנולוגי ומוקד משיכה לכוח אדם מדעי וטכנולוגי איכותי. השקעות בחלל מקדמות את צורכי הביטחון הלאומי, התעשייה והכלכלה, המדע והטכנולוגיה ומסייעות בשיפור המעמד הגיאופוליטי של המדינה (פייקובסקי & לוי, 2010).

תעשיית החלל מורכבת מארבעה סגמנטים עיקריים²²: ייצור (סגמנט הייצור רחב וכולל: ייצור לוויינים למטרות וגדלים שונים, ייצור אנטנות לתחנות קרקע וללוויינים, ייצור מכלולים עבור הלוויינים, מודמים, וכד'), שיגור, תחנות קרקע וחברות המספקות שירותים בתחומי התקשורת והחישה מרחוק, בעבודה זו נתמקד בתעשייה העוסקת בתחום התקשורת.

גישה לתשתיות תקשורת, מידע וידע היא תנאי הכרחי להתפתחות כלכלית ולמעבר ל"חברת מידע". בכלכלות מתפתחות ובאזורים מרוחקים בכלכלות מפותחות, עיקר הגישה לרשת התקשורת הגלובלית נעשית באמצעות לוויינים. תקשורת לוויינים מאפשרת חיבור בין אזורים בכדור הארץ שאינם נגישים דרך רשתות תקשורת קונבנציונאליות. עד היום תקשורת לוויינים התבצעה באמצעות לוויינים גדולים ויקרים. תקשורת הלוויינים נחשבת כיום ליקרה למדי, ומסתמכת בעיקר על לווייני תקשורת גדולים וכבדים הממוקמים במסלול בגובה של עשרות אלפי קילומטרים מעל כדור הארץ. בגובה זה, הלוויינים יכולים לכסות חלק משמעותי מכדור הארץ ולתקשר עם לוויינים אחרים בקו ישיר (ESRE, 2017).

קיימים שלושה סוגי מסלולי לוויינים: LEO, MEO ו-GEO. הטבלה הבאה מפרטת את מאפייני המסלול ואת היתרונות והחסרונות של סוג.

טבלה 7: מאפייני סוגי מסלולי לוויינים

מאפייני המסלול	לוויין GEO	לוויין MEO	לוויין LEO
	Geostationary Earth Orbit satellite	Medium Earth Orbit Satellite	Low Earth Orbit Satellite
זמן מסלול	24 hours	2 to 8 hours	10 to 40 minutes
גובה הלוויין	35,800 km	5000 to 12000 km	500 to 1500 km
אורך חיי הלוויין	ארוך	ארוך	קצר
מספר הלוויינים הדרוש לכיסוי מלא של כדור הארץ	3	20-80	40-80
יתרונות	מכסה שטח גאוגרפי גדול, דרושים רק שלושה לווייני GEO לכיסוי כדור הארץ. נמצא 24 שעות מעל מיקום קבוע על פני האדמה אידיאלי לשידור לווייני ותקשורת מרובת-נקודות	בגובה זה מספר הלוויינים הנדרש לכיסוי מלא של כדור הארץ נמוך יותר בהשוואה ללוויינים במסלולי LEO. זמן העיכוב עד להעברת המידע קטן יותר בהשוואה ללוויין GEO	לוויין LEO מספק את האות החזק ביותר מכיוון שהוא הכי קרוב לכדור הארץ. גם זמן העיכוב הוא נמוך ביותר מאותה סיבה.
חסרונות	קיים עיכוב משמעותי עד להעברת המידע מכיוון שהלוויין נמצא מעל קו המשווה, הוא נתקל בקושי בשידור קרוב לאזור הקוטב.	האות חלש יותר לעומת LEO מכיוון שהוא במסלול גבוה יותר מ-LEO. נמצא למשך שעתיים עד 8 שעות מעל מקום מסוים בכדור הארץ.	נדרש מספר גדול מאוד של רשת לוויינים נמצא רק למשך 15 עד 20 דקות מעל אזור מסוים

מקור: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/GEO-satellite-vs-MEO-vs-LEO-vs-Molniya-satellite.html>

²² החלוקה לסגמנטים המרכיבים את תחום החלל מסתמכת על דו"ח של חברת Space Foundation. מיפוי החברות הישראליות הכלולות בסגמנטים השונים מסתמך על ההרצאה של ד"ר נילי מנדלבלט ועופר לפיד בכנס החלל הבין לאומי השנתי ע"ש אילן רמון בתאריך 30.1.13.

בשנים האחרונות חברות שונות החלו להציע טכנולוגיות חדשות לתקשורת לוויינים. לדוגמה, אילון מאסק, בעליה של חברת SpaceX, יזם פרויקט Starlink - בו ישוגרו בשלב הראשון 12,000 לוויינים. 122 לוויינים כבר בחלל (נכון ל 11/2019). יתר הלוויינים ישוגרו בקצב שיגור של 60 לוויינים פעם בשבועיים. בשלב הראשון, ישוגרו הלוויינים לשלוש מעטפות גובה 340 ק"מ, 550 ק"מ ו 1,159 ק"מ - תחום ה LEO²³. עד כה, SpaceX, עסקה בתכנון, ייצור ושיגור טילים וספינות חלל, כעת מנסה החברה להיכנס לתחום של ייצור לוויינים. גרג ויילר, מייסד חברת הלוויינים WorldVu²⁴ המספקת פתרונות תקשורת ללוויינים יוביל את הפרויקט של SpaceX. פיתוח דומה הוצע גם על ידי המיליארדר הבריטי ריצ'רד ברנסן וחברת קוואלקום שהודיעו על הקמת רשת תקשורת לוויינים דומה, בשם One Web LTD (עילם, 2015)²⁵.

טלקומוניקציה מבוססת חלל (תקשורת לוויינים) מייצגת את הפעילות המסחרית הגדולה ביותר בכל השווקים הקשורים לחלל. טכנולוגיות לתקשורת לוויינים הקיימת כיום מבוססת בעיקר על חילופי מידע באמצעות תדרי רדיו. זהו אחד האתגרים של תחום זה. תדרי הרדיו הזמינים לגישה הינם מוגבלים מאוד, זוהי התמודדות הן טכנולוגית והן רגולטורית.

על פי דו"ח של ESRE בנושא טכנולוגיות חלל נבחרות שעתידות לשנות את העשור הבא, שוק התקשורת המסורתית, המבוסס על לוויינים גיאוסטציונריים²⁶, צפוי להישאר יציב למדי. למרות זאת, צפויים להיכנס לשוק טכנולוגיות חדשות, המבוססות על קבוצות לוויינים קטנים במסלולי LEO, המשתמשות במאות ואפילו אלפי לוויינים (למשל OneWeb)²⁷.

על פי דו"ח של חברת BCCResearch (Gaurav, 2018) בנושא תקשורת לוויינים (Satellite Communications), הכנסות שוק טכנולוגיות התקשורת הלוויינית הסתכמו בשנת 2016 ב-3.8 מיליארד דולר וצפויים להגיע לכמעט 7.5 מיליארד דולר בשנת 2022, בקצב צמיחה שנתי ממוצע (CAGR) של 10.5% בתקופת זו. עם זאת, צמיחת שוק טכנולוגיות התקשורת הלוויינית כיום מוגבל על ידי גורמים שונים כגון: עלות ייצור גבוהה - עלות טכנולוגיית התקשורת הלוויינית כוללת את עלות ייצור הלוויינים, שיגור הלוויינים והשקעות בפלח קרקעי ו/או בתחנות בסיס לניהול ושלטה על לוויין. בנוסף קיימים מגבלות נוספות כגון: הוצאות הכבדות של פיתוח ושיגור לוויינים שלוקח שנים להשלמתם, פריסת הלוויינים תלויה בשיגור מוצלח; בתנאי מזג אוויר - המשפיעים על העברת התקשורת ועלולים לגרום להפרעה או לעיכוב בקבלה או בשליחה. גורם נוסף, לוויינים סטנדרטיים הם בעלי אורך חיים של 12 עד 15 שנה, כך שצריך להחליף כל לוויין לפני תום תוחלת החיים שלו ולכן, יש מקום לפיתוח טכנולוגיות חדשות בתחום זה (Gaurav, 2018).

כיום, לווייני התקשורת משמשים במגוון רחב של שימושים שונים, ולהלן העיקריים שבהם (Labrador, 2019):

- **שידורי טלוויזיה ישירים לציבור** - DBS, המשודרים מתחנת קרקע דרך הלוויין ישירות לבתיהם של מנויי שירותי טלוויזיה רב ערוצים.
- **הפצת ערוצי טלוויזיה בין אולפנים ומוקדי שידור אל מערכות טלוויזיה בכבלים.**
- **שירותי דיווח חדשותי של ערוצי טלוויזיה ממקום התרחשותם של האירועים (אירועים מתוכננים כגון אירועי ספורט או קונצרטים, או אירועים חדשותיים כגון אסונות טבע, מלחמות ופיגועים).**
- **טלפוניה רב ערוצית** - חיבור מנקודה לנקודה בין שתי תחנות קרקע של אפיקי טלפוניה רבי ערוצים, לצורך תקשורת בינלאומית או בין עירונית. בעוד שימוש זה היה בתחילת ההיסטוריה של לווייני התקשורת הנפוץ ביותר, הוא הולך ונדחק על-ידי כבלים אופטיים תת-ימיים המעבירים ערוצי טלפוניה בכמות גדולה בהרבה ובעלות נמוכה יותר. עם זאת, יש עדיין שימוש נרחב בשירות הזה במדינות מתפתחות, בתקשורת לערים מרוחקות, וכגיבוי לשעת חירום למקרה של קריסת הכבלים האופטיים.

²³ [https://en.wikipedia.org/wiki/Starlink_\(satellite_constellation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Starlink_(satellite_constellation))

²⁴ חברת WorldVu Satellites המכונה כיום OneWeb, היא חברת תקשורת עולמית הממוקמת בלונדון. <https://oneweb.world/>

²⁵ <https://www.calcalist.co.il/internet/articles/0,7340,L-3650118,00.html>

²⁶ לוויין גיאוסטציונרי הוא לוויין מסלול גיאוסטציונרי (באנגלית: Geostationary Earth Orbit - GEO) הוא מסלול מעגלי סביב כדור במרחק של 35,786 ק"מ מעל קו המשווה. תכונתו העיקרית של מסלול זה היא כי הלוויין מסתובב במהירות זהה לזו של כדור הארץ, ועל כן יראה מכדור הארץ כנייח. תכונה זו מאפשרת להעביר שירותי תקשורת לאזורים מוגדרים על פני כדור הארץ לאנטנות המכוונות בזווית קבועה לנקודה ספציפית בחלל (ויקיפדיה, ערך: לוויין גיאוסטציונרי ומסלול גיאוסטציונרי)

²⁷ https://esre-space.org/wp-content/uploads/2018/01/ESRE_Whitepaper_-2017.pdf

- **טלפוניה ניידת** - שרות טלפון למנויים בודדים הנמצאים באזורים מרוחקים בהם אין קישור לטלפונים סולריים, לרבות תקשורת טלפונית לכלי שיט וכלי טיס.
- **תשתית לרשתות סולריות** כאשר ממסרי הרשת נמצאים באזורים מבודדים.
- **תקשורת נתונים למערכות עסקיות גדולות**
- **תקשורת אינטרנט לאזורים מרוחקים** כאשר לא כלכלי או בלתי אפשרי לחבר מנויים לתשתית הטלפונית או לתשתית הטלוויזיה בכבלים.
- **הפצת סרטי קולנוע** בפורמט דיגיטלי מאולפנים למספר רב של בתי קולנוע בו-זמנית.
- **תקשורת לוויינים צבאית** - מגוון רחב של שימושים כגון: קשר לכלי טיס וכלי שיט, קשר לכוחות מבצעיים באזורי לחימה, הנחיית חימוש מונחה, תקשורת בין מפקדות, ותקשורת מלווייני ביון וצילום אל תחנות קרקע על פני כדור הארץ.

התפתחויות עיקריות בתחום טכנולוגיית התקשורת הלוויינית ותחזיות עתידיות

בשנים האחרונות חלה התקדמות רבה בטכנולוגיית תקשורת לוויינים. להלן מספר דוגמאות (ESRE, 2017):

- SpaceX צפויה לשלוח לחלל טכנולוגיית נאס"א שתאפשר ללוויינים לתקן חלליות אחרות בחלל.
- 4,500 לוויינים צפויים להיות משוגרים למסלול נמוך סביב כדור הארץ בכדי להבטיח כיסוי פס רחב טוב יותר ומהיר יותר. לדוגמא, הפרויקט של SpaceX מטרתו לאפשר גישה רחבה יותר לאינטרנט בארה"ב עד שנת 2020.
- יושק גם ISRO Synthetic Aperture Radar Satellite של נאס"א, לצורך גישה ותקשורת טובים יותר לאינטרנט.
- Raytheon מפתחת מערכת טילים שצפויה לקיים תקשורת דו כיוונית עם האובייקטים בשטח.
- DARPA ו-SSL מפתחים לוויינים שיהיו מודולריים ממערכות תקשורת לווייניות הקיימות כיום.
- הודו עשתה טביעת רגל חזקה בתעשיית החלל המסחרית העולמית באמצעות שיגור מספר רב של לווייני תקשורת.

על פי התחזיות, שוק הטכנולוגיות לתקשורת לוויינים ימשיך לצמוח. בעשור הבא צפוי שיגור של מאות לוויינים גדולים ואלפי ננו-ומיקרו-לוויינים לאטמוספירה של כדור הארץ. התחזית היא כי התפתחויות מסוג זה יביאו את הדור הבא בתחום התקשורת הלוויינית. יתר על כן, פיתוח של טכנולוגיות בתחום זה ימלאו תפקיד מפתח בתחום הביטחוני והממשלתי. לדוגמא, בארה"ב ב-2017 הושק ה-SATCOM של בואינג, כשהמטרה היא להבטיח כי ארה"ב ושש מדינות בעלות הברית האחרות יוכלו להגביר את התקשורת, כמו גם לאפשר להן להגן על עצמן מפני התקפות טרור, למנוע אותן ולהגיב עליהן. מנגד, רוסיה וסין מפתחות מערכות נשק המשמידות לוויינים במסלול, ומעמידות את כל הלוויינים ברחבי העולם בסיכון (Gaurav, 2018).

טכנולוגיית תקשורת לוויינים והתקני לוויין היו חלק מהטכנולוגיות בתחום שהביאו לשינוי בתעשיית התקשורת. הצפי הוא כי בשנים הבאות רשתות המבוססות על טכנולוגיות מסורתיות יעברו לרשתות תקשורת מבוססות לווייניים בשל יתרונות הנגישות והדיוק היותר טובות שלהן. יתרה מזאת, מערכות של תקשורת לווייניות ישמשו בוורטיקליים שונים בתעשייה, כגון: תחבורה ולוגיסטיקה, קמעונאות, ביטחון ומעקב, ואלה צפויים להביא את שוק טכנולוגיות תקשורת לוויינים לעידן חדש.²⁸ טכנולוגיית תקשורת לוויינים מהירה זולה ומתקדמת יותר תביא לשימוש רחב של טכנולוגיות אחרות המתפתחות כיום כמו יישומי IOT ("אינטרנט של הדברים") (Gaurav, 2018).

²⁸ Sinha G. Gaurav (2018), Satellite Communications: Global Market Through 2022, BCCResearch

4.1.1 טכנולוגיות מובילות בתחום תקשורת לוויינים שהומלצו בדו"ח של (ESRE , 2017):

בשנת 2017 איגוד החלל האירופאי למחקר פרסם דו"ח העוסק במגמות וטכנולוגיות חלל שנבחרו לעצב את העשור הבא. אחד התחומים שהדו"ח עוסק בו הוא תקשורת לוויינים. להלן טכנולוגיות מפתח מומלצות שהדו"ח מציע להתייחס אליהן:

- Research and development of bi-directional optical feeder links to geostationary orbit and HAPS (High-Altitude Pseudo-Satellite)
- Elaboration of concepts for next generation collaborative small satellite data telecom constellations
- Research and development of small-scale transmitters/receivers for optical inter-satellite links
- Research and development of quantum-safe optical telecommunication

4.2 פעילותה של ישראל בתחום תקשורת הלוויינים

ישראל החלה את פעילותה בחלל בראשית שנות ה-80, ושיגרה מאז לחלל לוויינים אחדים, לשימושים צבאיים (לוויינים מסדרת אופק), לשימושים אזרחיים (לוויינים מסדרת עמוס), ולמחקר (לווייני טכסאט)²⁹. פעילותה של מדינת ישראל בתחום החלל הניבה תרומות רבות לכלכלה, לקידום המחקר המדעי והטכנולוגי ולפיתוח ההון האנושי. במהלך השנים השתלבה ישראל בפרויקטים מחקריים וטכנולוגיים בין-לאומיים בתחום החלל, וקיבלה הכרה ומוניטין בעולם על הישגיה ויכולותיה. במקביל, פיתחה מדינת ישראל מערך אקדמי שסיפק תמיכה מחקרית ומדעית בפקולטות הרלוונטיות. (גץ, בוכניק, זלמנוביץ, לביד, & בראזני, 2014)³⁰

ההשקעה של ממשלת ישראל בתחום החלל בשנת 2018 הייתה כ-82 מיליון שקלים. ב-2019 הודיע ראש הממשלה לאחר ניסיון הנחתת גישושת ישראלית על הירח במימון תורמים, כי הוא שוקל לקדם "תוכנית חלל" ישראלית חדשה אשר תתקצב במימון ממשלתי וציבורי⁸.

לווייני התקשורת בישראל הנקראים "עמוס" מתפעלים על ידי חברת חלל תקשורת. סדרת "עמוס" היא סדרת לווייני תקשורת אזרחיים. עד היום נבנו 10 לווייני תקשורת מסדרת עמוס. מרביתם נבנו על ידי התעשייה האווירית. חלל תקשורת התחילה כספקית שרותי תקשורת לוויינית של עמוס 1 שיוצר על ידי התעשייה האווירית בשנת 1996 (פירוט על לווייני תקשורת עמוס בנספח ו').

בשל צרכים ביטחוניים ומגבלות גודל ומשאבים, בחרה ישראל להתמקד בעיקר בשני תחומים של טכנולוגיות החלל: חישה מרחוק ותקשורת. הלוויינים אשר פותחו בישראל הם קטנים יחסית ללוויינים בעלי ביצועים דומים בעולם. איכות ההון האנושי הגבוהה והחתימה המתמדת להצטיינות בתחומי הביטחון וההגנה, מקנות לישראל יתרון תחרותי גם בתחום החלל (גץ, כצמן, פייקובקי, & ואחרים, 2008) (בן יוסף & כהן, 2011).

4.3 תעשייה בישראל בתחום של תקשורת לוויינים

תעשיית החלל מורכבת מארבעה סגמנטים עיקריים: ייצור, שיגור, תחנות קרקע וחברות המספקות שירותים בתחומי התקשורת והחישה מרחוק. בישראל חלק מהחברות הגדולות שייכות ליותר מסגמנט אחד וגם הפרדה בין פעילות אזרחית לבין פעילות ביטחונית קשה עד בלתי אפשרית. חלק מהחברות (לדוגמא: תע"א, רפאל, אלופ, אימג'סאט) פועלות בשני המגזרים וביותר מסגמנט אחד.

29

https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%9C%D7%95%D7%95%D7%99%D7%99%D7%A0%D7%99%D7%9D_%D7%99%D7%A9%D7%A8%D7%90%D7%9C%D7%99%D7%99%D7%9D

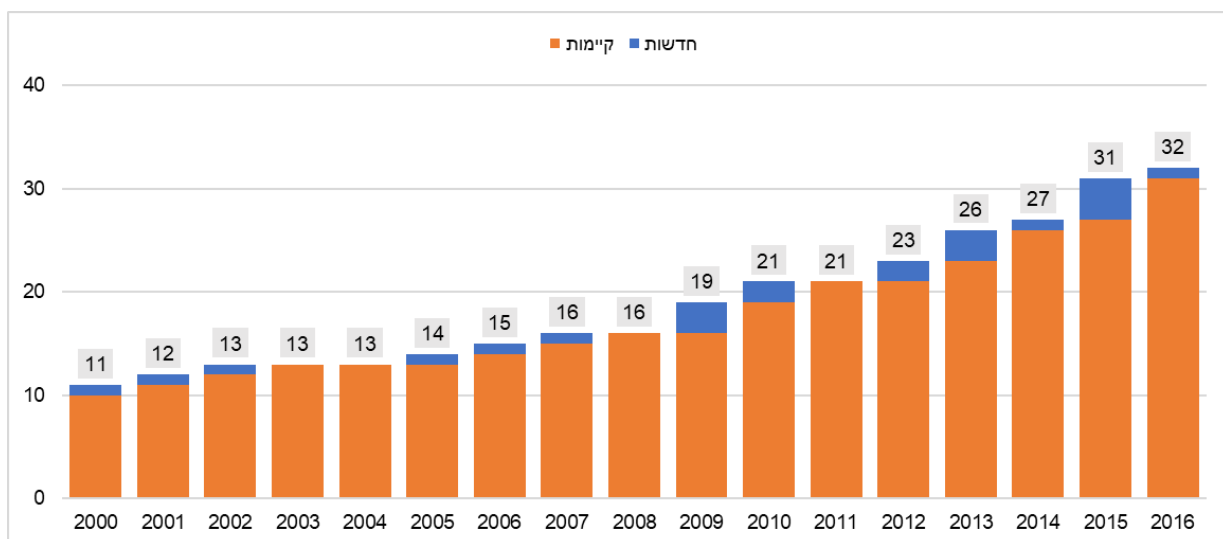
³⁰ פעילות מו"פ, תשתיות וכוח אדם בתחום החלל האזרחי בתעשייה, באקדמיה ובמערכת החינוך בישראל, מוסד שמואל נאמן, 2014

בעשור האחרון, ישראל מתמקדת בשני תחומים עיקריים של טכנולוגיות חלל: חישה מרחוק ותקשורת. הלוויינים אשר פותחו בישראל הם קטנים יחסית ללוויינים בעלי ביצועים דומים בעולם. איכות ההון האנושי הגבוהה והחתימה המתמדת להצטיינות בתחומי הביטחון וההגנה, מקנות לישראל יתרון תחרותי בתחום החלל¹⁰.

בישראל פועלות ב-2019, על פי מאגר ה-Startup Nation Central Finder, 32 חברות המופיעות תחת התיג: **satellite-internet, satellite-modem, satellites** (פירוט בנספח ג'). 50% מהחברות האלה, הוקמו בעשר השנים האחרונות. בממוצע הוקמו שתי חברות בשנה.

שליש מהחברות הן חברות גדולות המעסיקות מעל 50 עובדים. מתוך שלוש חברות גדולות מעל 500 עובדים שהן: התעשייה האווירית לישראל, רפאל וחברת גילת. חברות אלה הן חברות מבוססות שעוסקות בבניית לווייני תקשורת ובמו"פ לפיתוח תקשורת לוויינים. רוב החברות (כ-70%) הן חברות קטנות עד 50 עובדים. מחציתן הוקמו בחמש השנים האחרונות מה שיכול להצביע על מגמה של גידול בתחום. לדוגמה חברת צופן אלגוריתם (Tsofun Algorithms) שפיתחה טכנולוגיה לשיפור הביצועים של מערכות תקשורת ואחסון מידע על בסיס גישה מתמטית מתקדמת. החברה שותפה גם במאגד ג'ינסיס (פירוט על מאגד ג'ינסיס בפרק העוסק בתמיכה ממשלתית).

איור 17: מספר החברות בתחום תקשורת לוויינים לפי שנת הקמה, 2000-2016



מקור: עיבוד מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

4.3.1 משקיעים

בתשע מתוך 32 החברות שבמאגר Startup Nation Central Finder, בוצעו גיוסי הון בסך כולל של 365.4 מיליון דולר. הטבלה הבאה מציגה את החברות ואת הסכום שגויס. רוב הגיוס, 293 מיליון דולר בוצע בשנת 2013 בחברת חלל תקשורת - Spacecom Satellite Communications³¹ על ידי התעשייה האווירית. שאר ההשקעות קטנות בהרבה ולמספר חברות מצומצם. בנספח ב' מופיע פירוט עבור חברות Sky and Space ו-Global NSLComm וחברת NSLComm.

³¹ חלל תקשורת היא חברה ישראלית המספקת שירותי תקשורת לוויינית. החברה משווקת את שירותי הלוויינים מסדרת "עמוס", שחלקם יוצרו בישראל. **תחום פעילות החברה הוא מכירת רוחב סרט של לווייני תקשורת ברחבי העולם.** מתן שירותי תקשורת לוויינית באמצעות שיווק מקטעי חלל של לווייני תקשורת (או חלקים ממקטעים אלו) ברוחבי פס שונים. מקטעי החלל אותם משווקת החברה הם של הלוויינים עמוס 2 עמוס 3 (אזורי כיסוי: מזרח תיכון, מזרח אירופה, וקצת אמריקה), עמוס 4 (אזור כסוי מזרח אסיה- סין רוסיה, מלזיה) ועמוס 5 (אזור כיסוי אפריקה) אשר בבעלותה. החברה נוסדה בשנת 1992 אך בפועל החלה לפעול בשנת 1996 עם שיגור הלוויין עמוס 1.

טבלה 8: היקף גיוס ההון שבוצע בחברות בתחום התקשורת לוויינית

שם החברה	סכום הגיוס במיליוני דולרים (M\$)
Spacecom Satellite Communications	293.0
SatixFy	32.0
Sky and Space Global	12.0
Foxcom	10.8
NSLComm	9.4
OriginGPS	2.7
MOOnitor	2.5
PlanetWatchers	1.8
Galileo Satellite Navigation	1.4
סה"כ	365.4

מקור: עיבוד מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

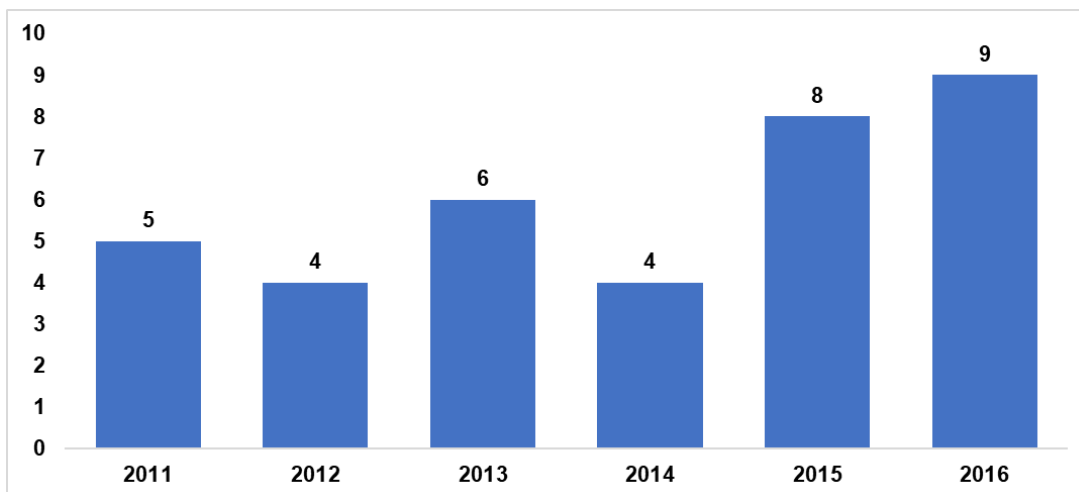
4.4 תפוקות מו"פ בתחום תקשורת לוויינים

4.4.1 פטנטים

האיור הבא מציג את מספר הבקשות לפטנטים ב-USPTO של מגישים ישראלים בתחום תקשורת לוויינים על פי חיפוש לפי הסיווג הבא: H04B7/185 - Space-based or airborne stations; Stations for satellite systems.

בשנים 2015 ו-2016 מספר הבקשות הכפיל את עצמו לעומת שנים קודמות. לא ניתן להציג נתונים לשנים מתקדמות יותר מאחר והנתונים עדיין לא סופיים.

איור 18: בקשות לפטנטים ב-USPTO של מגישים ישראלים בתחום תקשורת לוויינים 2011-2019, לפי שנת הגשת הבקשה לפטנט



מקור: עיבוד של צוות מוסד נאמן לנתוני USPTO.

מתוך בקשות לפטנטים שהוגשו בשנים 2011-2018 בתחום, 17 בקשות הוגשו על-ידי חברת גילת פי 3 מכל חברה אחרת שהגישה בתחום זה. הטבלה הבאה מציגה את החברות שהגישו בקשה לפטנט ב-USPTO בשנים 2010-2018.

טבלה 9: מגישים מובילים בהגשת בקשות לפטנט ב-USPTO בין השנים 2010-2018

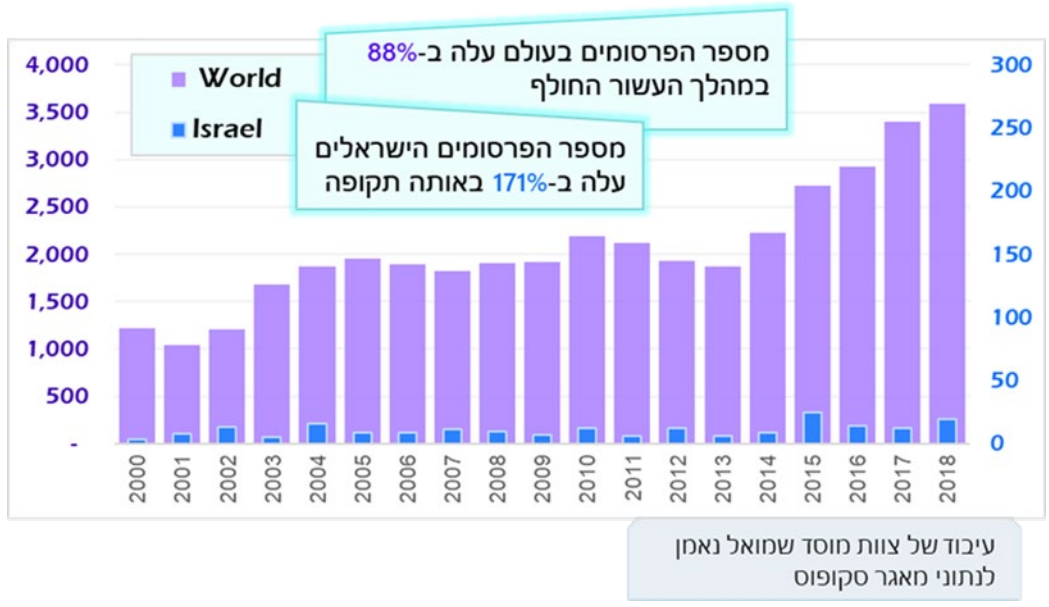
Assignee	Number of applications
GILAT SATELLITE NETWORKS LTD	17
SATIXFY ISRAEL LTD	5
NOVELSAT LTD	4
ELBIT SYSTEMS LAND & C4I LTD	3
ELTA SYSTEMS LTD	3
ADVANTECH WIRELESS LTD	1
AYECKA COMM SYSTEMS	1
BRIGHTSOURCE IND ISRAEL LTD	1
CONEXANT SYSTEMS INC	1
EMBEDDED SOLUTION	1
HISKY SCS LTD	1
INTEL CORPORATION	1
ISRAEL AEROSPACE IND LTD	1
LEVIN TIROSH,[IL]; DANIEL TOMER	1
MOBILE SAT LTD	1
NSL COMM LTD	1
ORBIT COMM SYSTEMS LTD	1

מקור: עיבוד של צוות מוסד נאמן לנתוני USPTO.

4.4.2 מדדים ביבליומטרים

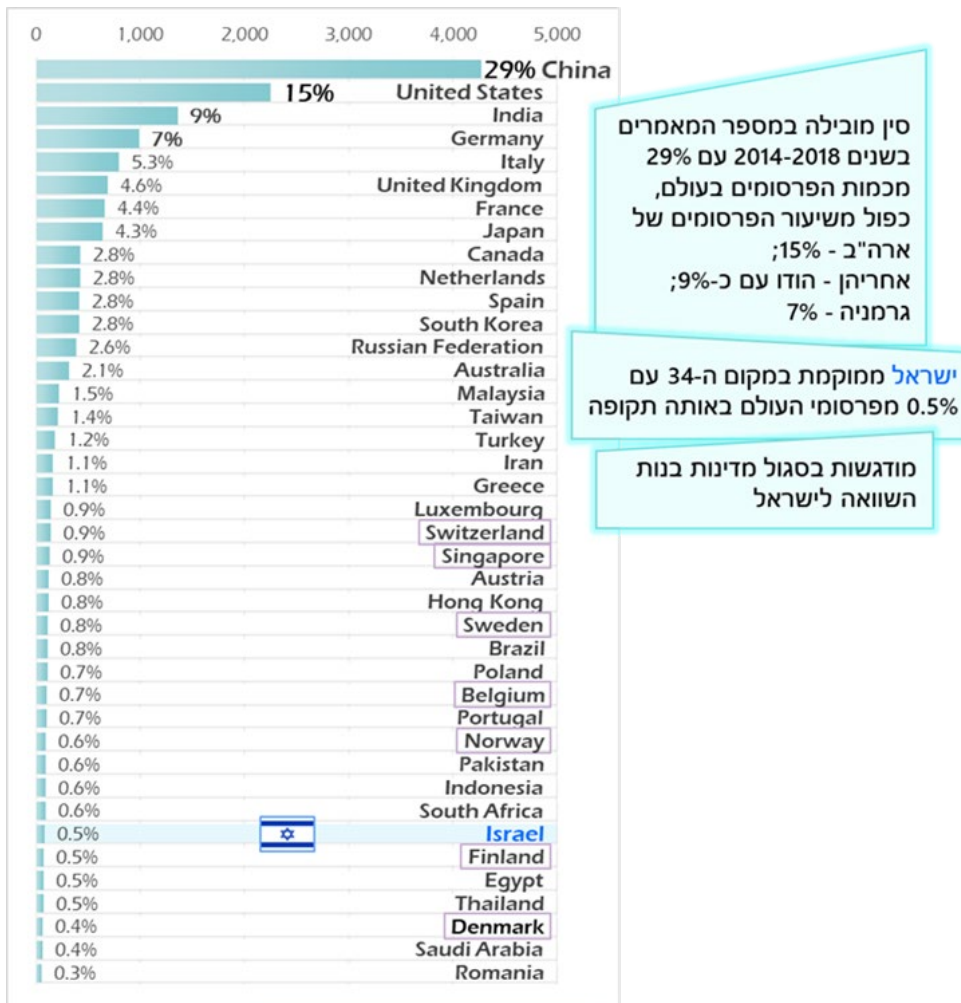
מניתוח מדדים ביבליומטרים ומענקי המחקר בתחום, אין עדות למחקר משמעותי בהיקפו באוניברסיטאות בישראל בתחום תקשורת לוויינים³² בהשוואה למדינות אחרות בעולם. מספר הפרסומים בעולם עלה ב-88% במהלך העשור החולף כאשר עיקר העלייה היא משנת 2013. בשנת 2018 המאמרים הישראלים בנושא "תקשורת לוויינים" היוו כ-0.5% מפרסומי העולם בתחום והיא מדורגת במקום ה-34 בהשוואה בינלאומית.

איור 19: מספר הפרסומים בעולם ובישראל, 2000-2018



³² מילות המפתח ששימשו לחיפוש: satellite communication -I satellite constellation

איור 20: דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018



סין מובילה במספר המאמרים בשנים 2014-2018 עם 29% מכמות הפרסומים בעולם, כפול משיעור הפרסומים של ארה"ב - 15%; אחריהן - הודו עם כ-9%; גרמניה - 7%

ישראל ממוקמת במקום ה-34 עם 0.5% מפרסומי העולם באותה תקופה

מודגשות בסגול מדינות בנות השוואה לישראל

עיבוד של צוות מוסד שמואל נאמן לנתוני מאגר סקופוס

האיור הבא מציג תיאור סכמתי של התפלגות הפרסומים לפי אוניברסיטאות וחוקרים נבחרים. הטכניון ואוניברסיטת תל אביב בולטים במספר הפרסומים בתחום התקשורת הלוויינית.

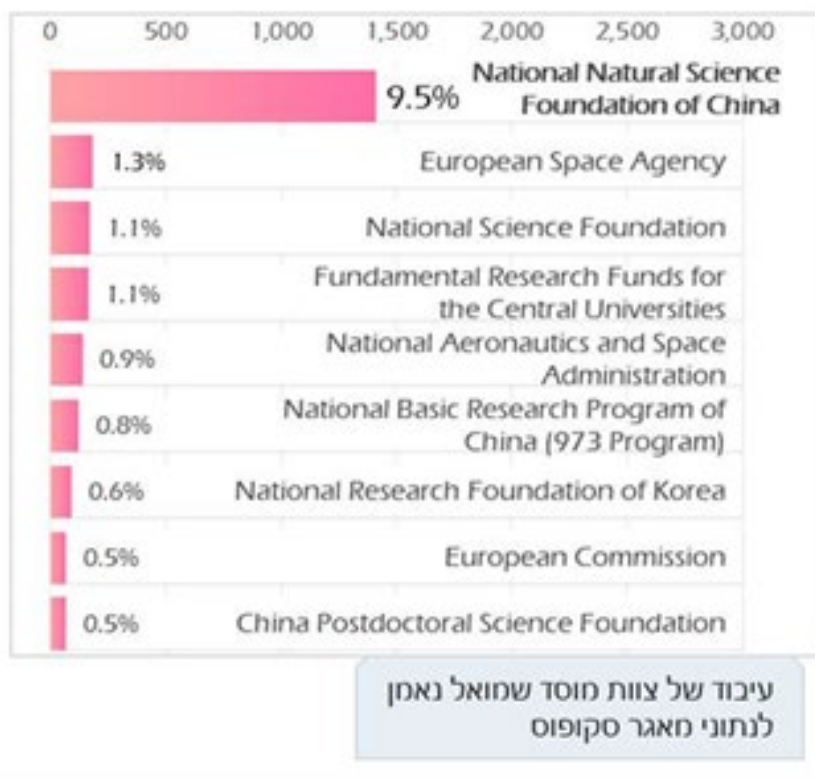
איור 21: תאור סכמטי של התפלגות הפרסומים בשנים 2014-2018 לפי אוניברסיטאות וחוקרים נבחרים



עיבוד של צוות מוסד שמואל נאמן לנתוני מאגר סקופוס

האיור הבא מציג את גופי המימון המובילים בעולם למחקר האקדמי. הקרן הלאומית הסינית למדע (National Science Foundation China) בולטת במספר המאמרים הממומנים, כ-10% מסך המאמרים בתחום בתקופה. ניתן לראות את ההשפעה בהובלה של סין במספר הפרסומים בעולם שמהווה 30% מהם באותה תקופה. שאר הגופים הממומנים שיעורם נמוך יותר ועומד על לא יותר מ-1.3%.

איור 22: גופי המימון המובילים לפי מספר המאמרים בעולם שמומנו בתקופה שבין 2014-2018



4.5 תמיכה ממשלתית בתחום

4.5.1 סוכנות החלל הישראלית (סל"ה)

תמיכה במחקרים באקדמיה – אחת המטרות של סל"ה היא שמירה על המעמד המוביל של האקדמיה הישראלית בנושא חלל היות וחלק מהיכולות של התעשייה נשענות על מחקרים בסיסים ויישומים באקדמיה. התמיכה במחקרים באקדמיה מתבצעת באמצעות קולות קוראים. התקציב כיום בשנת 2019 עומד על כ-20 מיליון ש"ח³³.

בשנת 2019, במסגרת משרד המדע והטכנולוגיה פורסם **מכרז פומבי מס' 19/2019 לפיתוח, בניה ושיגור של ננו-לוויין טכנולוגי**³⁴: מכרז זה אמנם לא נוגע ישירות לתקשורת לוויינים אך כפי שתיארנו הפיתוח העתידי של תקשורת לוויינים מבוסס גם על פיתוח של ננו-לוויינים ותלוי המטעד המפותח עליו. לחוקרים שרוצים לחקור את תחום תקשורת לוויינים המבוססות על טכנולוגיות של ננו-לוויינים יכולים לגשת למכרז זה. להלן תיאור של המכרז: "ועדת המכרזים של משרד המדע והטכנולוגיה פונה לציבור בבקשה להגיש הצעות לביצוע פרויקט לבניית ננו-לוויין (לוויין זעיר) שגודלו לא יעלה על 6U בשילוב מטעד ושיגורו לחלל להוכחת יכולת טכנולוגית אשר פותחו לפלטפורמות חלליות, בעל פוטנציאל מסחרי ו/או הדגמת רעיון מסחרי בחלל". המכרז מיועד לגופי אקדמיה ו/או תעשייה העוסקים בפרויקטים בתחום החלל. משרד המדע ייתן סכום של 6,000,000 ₪ (שישה מיליון שקלים) לכל היותר או 80% מעלות הפרויקט, הנמוך מבניהם, בכפוף לזמינות תקציבית. ננו-לוויינים.

³³ מתוך ראיון טלפוני שבוצע ב-28/11/2019 עם אבי בלסברגר. ראה נספח א)

³⁴ https://www.gov.il/he/departments/publications/Call_for_bids/most_rfp20191010

תמיכה במו"פ בתעשייה - אחת מהמטרות של סל"ה היא לסייע במו"פ הנעשה בתעשייה על מנת לפתח יכולת, וטכנולוגיות שיתנו לתעשיות הישראליות יתרון תחרותי בשוק האזרחי בעולם. התמיכה ניתנת לתחומים שהתעשייה הישראלית חזקה בהם כמו לווייני תקשורת, מזעור ועוד. חלק מהמימון נעשה דרך רשות החדשנות.

דוגמאות למימון דרך רשות החדשנות: מאגד ג'ניסיס (ראה הרחבה סעיף 1.5); חברת NSLComm שעוסקת בתחום קיבלה מענקים. גם חברות כמו NovelSat ו-רמון ציפ ממומנות דרך מענקים של סל"ה.

ביוני 2019 יצא מכרז: קול קורא להגשת הצעות מחקר בתחום: חלל לשנת 2020 – שאפשר לכל אחד להגיש בקשה למימון בכל נושא בו הוא מעוניין. (ראה פירוט בנספח ה').

בין נושאי המחקר שסל"ה תומכת בהם באמצעות תקציבה: מודולים ללווייני תקשורת (satellites modules Communication), הנעה חשמלית, רכיבים למחשב חלל, רכיבים ממוזערים, פאנלים סולאריים נפתחים ועוד.

4.5.2 מאגד ג'ניסיס (Genesis)³⁵

מאגד ג'ניסיס הוקם במסגרת תוכנית מגנט של רשות החדשנו. מאגד ג'ניסיס (Genesis) אושר בשנת 2017 ומתמקד בטכנולוגיות לתקשורת לוויינים בכיסוי עולמי רחבת סרט עם שיהוי נמוך. מטרת המאגד היא פיתוח טכנולוגיות לניצול מרבי של משאבי רשת לוויינים ותחנות קרקע שתאפשר גידול בנפחי התעבורה ובכמות המשתמשים באמצעות ארכיטקטורה דינמית המשלבת יכולות עיבוד יעילים, בקרקע ובלווין, ותוך מענה לדינמיות הגדולה ולכשלים מערכתיים³⁶. בשנת 2018 התקציב של המאגד עמד על 178,818 ₪.

המטרה של המאגד ליצור ידע במספר מישורים: **ארכיטקטורה** - פיתוח ארכיטקטורה חדשנית המשלבת את המקטע הלווייני המבוזר (באלפי לוויינים), עם רשת קרקעית מבוזרת; **ניצול משאבים דינמי** - פיתוח אלגוריתמים לניצול מיטבי של משאבי הרשת במערכים גדולים מאוד (משאבי עיבוד, משאבי תדר וכד'); **קצבי תקשורת גבוהים** - פיתוח קידודים ואפנונים חדשים על מנת לאפשר נפחי תעבורה גבוהים ביותר; **מכלול תקשורת חללי** - פיתוח יכולות עיבוד נצילות בלוויין (OBP) שיאפשרו יכולות עיבוד הן ברמת המקלט/משדר והן ברמת הרשת; **כלי סימולציה** - פיתוח כלי סימולציה לניתוח הרשת וחקר ביצועיה.

התקציב למאגד הוקצה לשלוש שנים. בעבר המאגדים היו מוקמים לחמש שנים. לדעת מוטי חיימוביץ - המנהל הטכנולוגי של המאגד זה לא מספיק זמן ויש מקום להאריך את משך החיים של המאגד. לעיתים לוקח לטכנולוגיות חמש שנים ויותר להבשיל.

בתחילת הפרויקט השתתפו במאגד האוניברסיטאות הבאות: האוניברסיטה העברית, טכניון, אוניברסיטת תל אביב, אוניברסיטת בר-אילן וחמש חברות: גילת, נובלסט, אדבנטק ווירלס, אלביט וצופן אלגוריתם.

היום במאגד יש 7 נושאי מחקר מהאוניברסיטאות ו-5 חברות שמשותפות במאגד:

- שלושה חוקרים מהטכניון - פרופ' אריאל אורדע מהפקולטה לחשמל; פרופ' ספי נאור מהפקולטה למדעי המחשב; ו פרופ' יובל עמק מהפקולטה לתעשייה וניהול.
- אוניברסיטת בר אילן - פרופ' זהבי אפרים מהפקולטה להנדסה עם שני דוקטורנטים
- אוניברסיטת בן גוריון - פרופ' שלומי דולב; פרופ' שלומי ארנון; ופרופ' מיכאל סגל
- אוניברסיטת תל אביב - פרופ' אורי ארז - הפקולטה להנדסה
- האוניברסיטה העברית - ד"ר אור אורדנטליך

החברות המשתתפות במאגד הם גילת רשתות; אדבנטק ווירלס; שתי קבוצות מאלביט - אלביט חיפה קבוצה העוסקת בכלי טיס בקונסטלציה לוויינית ובשיגור לוויין בגובה נמוך וקבוצה שנייה העוסקת בייצור רכיבי תקשורת לחלל. חברה נוספת היא אייכה- חברה קטנה מפתחת תתי מערכות ומכלולים בתחום

³⁵ המידע בתת פרק זה מבוסס על ראיון שבוצע עם מוטי חיימוביץ - מנהל המאגד ומקורות פתוחים.

³⁶ <https://innovationisrael.org.il/content/%D7%9E%D7%A4%D7%92%D7%A9-%D7%94%D7%AA%D7%A0%D7%A2%D7%94-%D7%9C%D7%9E%D7%90%D7%92%D7%93-genesis>

התקשורת הלוויינית. שלוש חברות שהיו בתחילת הדרך פרשו מהמאגד: חברת צופן אלגוריתם; רמון צ'יפ ומבט – תעשייה אווירית.

התחום של המאגד הוא תחום של "new space" העזיבה של תעשייה אווירית בתחילת המאגד יצרה קושי על הקמת והתנעת המאגד וזה לקח יותר זמן. בשנה האחרונה התחום מתחיל "להתחמם" שוב. חברת SpaceX נכנסה לתחום – שילחו 66 לוויינים במאי השנה ואמורים לשלח עוד 66 לוויינים בימים אלה. חלק מהתקציב של המאגד ממומן על ידי סל"ה וזה עוזר לרשות החדשנות להשקיע בתחום.

4.6 מענקי מחקר

מענקי מחקר בתחומי תקשורת לוויינים

נסקרו חמש קרנות מהן מקבלים חוקרי ישראל מענקי מחקר: ERC, BARD, GIF, BIRD ו-ISF. רק שלוש מתוכן העניקו מענקי מחקר בתחום זה (ראה טבלה 10 ופירוט בנספח ד').

מספר המענקים הכולל שנמצא הוא נמוך ביותר, בעיקר בהתחשב בכך שזהו מספר המתפרס על פני תקופה ארוכה ומשתנה עבור כל קרן. מספר המענקים הגדול ביותר ניתן על ידי קרן BIRD, שהיא קרן משותפת לישראל וארה"ב והיא ייעודית למחקר תעשייתי. קרן BIRD העניקה 14 מענקים בין השנים 1988-2019. רובם בשנות ה-90 רק שני מענקים הוענקו בשלוש השנים האחרונות (המענק אחרון ניתן בשנת 2017).

קרן נוספת המממנת מענקים בתחום תקשורת לוויינים היא קרן קנדה-ישראל, CIRDF, אשר אישרה 8 פרויקטי מחקר ופתוח חדשים וחדשניים של חברות ישראליות בשנת"פ עם חברות קנדיות בתחומי החקלאות, רובוטקה, תקשורת לוויינים, מזון וקלינטק. תקציב המו"פ הכולל של הפרויקטים שאושרו בשנה האחרונה בין שתי המדינות עומד על 42 מיליון ש"ח. אחת החברות שזכתה היא חברת גילת רשתות לוויינים בע"מ – בתחום תקשורת לוויינים (לא ניתן לקבל את המידע כמה הוקצע לכל תחום).³⁷

טבלה 10: מענקי מחקר בתחומי תקשורת לוויינים מקרנות נבחרות

מספר המענקים	טווח שנים	קרן
1	2007 - 2019	ERC
1	2011 - 2018	GIF
14	1988 - 2019	BIRD
16		סה"כ

4.7 חוזקות וחולשות של תעשיית החלל הישראלית – תקשורת לוויינים

מעבודה רחבה שעשה מוסד נאמן בנושא פעילות מו"פ, תשתיות וכוח אדם בתחום החלל האזרחי בתעשייה, באקדמיה ובמערכת החינוך בישראל עלו חוזקות וחולשות של כלל החוזקות והחולשות של ישראל. להלן החוזקות והחולשות שנוגעות לתחום של תקשורת לוויינים (גץ, בוכניק, זלמנוביץ, לביד, & בראזני, 2014).

4.7.1 חוזקות של תעשיית החלל הישראלית

- **פעילות חלל באקדמיה שנמצאת בחזית הידע** - לדוגמה, הפעילות המחקרית בנושא של **צבר/קבוצות של לוויינים** שנמצאת בחזית הידע העולמי מבחינת ציוד מחקרי בעיקר על ידי מימון של קרנות אירופאיות. פרויקט סמסון הוא ייחודי בעולם. שטחים נוספים חזקים בתחום החלל במדינת ישראל בהשוואה לעולם הם: חישה מרחוק והנעה רקטית.
- **תהליכי עבודה** - המאפיינים והמפתחים עובדים יחד בצורה הדוקה ויעילה. ישראל היא מדינה קטנה וקהילת החלל היא מצומצמת ואינטימית. קיימת אינטראקציה קרובה בין המפתחים ובין הצרכנים (לפחות במערכת הביטחון). עבודת הפיתוח נעשית בצמידות לצרכי הצרכנים. תהליך התכנסות למערכת שבה יש מיצוי של

³⁷ https://innovationisrael.org.il/press_release/3652

הנדרש והאפשרי לתוך יכולות מוגדרות, מתנהל בצורה טובה במערכות צבאיות בארץ, לא רק במערכות חלל. זה לא קיים בארה"ב – שם יש נתק בין המפתח (תעשייה) והמאפיין (צבא), שמוביל פעמים רבות לניפוח תוכניות.

- **כוח אדם איכותי** - בישראל יש קבוצות עם ידע וניסיון בנושאים של בקרה של לוויינים, מסלולים והנעה.

4.7.2 חולשות של תעשיית החלל הישראלית

- **לווייני תקשורת** - המדינה לא השקיעה מספיק כדי לפתח את תחום לווייני התקשורת. באמריקה ובאירופה חברות אוויר-חלל נסמכות על הזמנות מסודרות של הממשלות שמשקיעות בלוויינים לאומיים ולא רק על הזמנות מסחריות, דבר המאפשר לחברות הלוויינים להיות תחרותיות. לווייני התקשורת הישראלים עדיין יקרים יותר בהשוואה לעולם ואין להם יכולת להתחרות (לא במחיר ולא בזמן אספקה). התעשייה האווירית מייצרת לוויין תקשורת בודד אחת לכמה שנים (בהשוואה לחברות מקבילות בעולם שיש להם קו מוצר של לווייני תקשורת), עובדה שמקשה על פיתוח תחום זה. בניגוד ללווייני הצילום שבהם החומרה היא כחול לבן, בלווייני התקשורת כמעט כל החומרה מיובאת ובישראל מבוצעת ההרכבה.
- **ננו לוויינים** - מדינת ישראל נמצאת מאחור בהשוואה לעולם בנושא של שיגור ננו לוויינים. עד כה מספר הננו הלוויינים ששוגר נמוך בהשוואה בינלאומית.
- **חוסר השקעה בתעשייה של מכלולים (רכיבים, טכנולוגיות וכן הלאה)** - מדינת ישראל לא השקיעה כספים בפיתוח ושיווק תעשייה של מכלולים (מלבד המנוע היוני של רפאל). לדוגמה, אל-אופ יכלה להיות תעשייה שמייצאת טלסקופים אך בפועל, אל-אופ לא ייצאה אף טלסקופ פרט לקוריאה. **מחסור בתמיכה תקציבית בפעילות מו"פ בתחום החלל.**
- **קושי בגיוס מימון מסחרי** - יש קושי לגייס כספים ממשקיעים ומחברות השקעה כי בתחום החלל החזרים מוגבלים וארוכים. בדרך כלל רק עשור אחרי רואים החזר של ההשקעה.
- **תחום התקשורת הלוויינית הוא תחום מתפתח ולישראל יש יתרונות ייחודיים** - הממשלה צריכה להשקיע יותר כדי שישראל תוכל להיות שחקן משמעותי יותר.
- **מגבלות של יצוא**. זוהי מגבלה של מדיניות ממשלתית.
- האתוס בישראל לא תומך בנושאים של הנדסת חלל כמו האתוס הלאומי בארה"ב, נורבגיה ושבדיה, כיון שתחום החלל כרוך בהשקעות גבוהות ובסיכון. האתוס בישראל שם דגש על חברות הזנק בתחומים שבהם ההחזר הוא בפרק זמן קצר.

4.8.1 נספח א': סיכומי ראיונות

שם	תפקיד	תאריך
פרופ' אבנר קידר	מהנדס ראשי בפרויקט סמסון בטכניון – מכון אשר	19/11/2019
מוטי חיימוביץ	מנהל מאגד ג'נסיס	20/11/2019
אבי בלסברגר	מנהל סוכנות החלל הישראלית	28/11/2019
עופר גולדהירש	הרשות לחדשנות	16/12/2019

4.8.1.1 סיכום ראיון עם אבנר קידר

הראיון נערך בתאריך 19/11/2019

משתתפים: ד"ר דפנה גץ, ורד גלעד וציפי בוכניק.

אבנר קידר ממכון אשר בטכניון הוא המהנדס מערכת ראשי של פרויקט סמסון

פרויקט סמסון - קונסטלציה של 3 לוויינים שתשוגר לחלל תוך מספר חודשים.

היום בונים רק ננו-לוויינים – אלא אם זו משימה מסוגת של פעם בחיים. אין יותר לוויינים של 600 קילו. לוויין היום שוקל 8 קילו אם הוא מאוד גדול מגיע ל-16 קילו – זו המגמה בעולם. זו מגמה שהולכת ומתפשטת וזו הולכת להיות – Disruptive Technology – כולם עובדים רק על זה ובעתיד הקרוב מאוד מדברים על כך שישוגרו מאוד ואלפים של ננו-לוויינים. הגודל של ננו-לוויין הוא בגודל 20*30 על גובה 10 ס"מ. קופסת נעליים וחצי. הלוויין של סמסון הוא קצת צפוף כי ניסינו לדחוף עוד ועוד.

המטרה של פרויקט סמסון היא להדגים טיסה של שלושה לוויינים בצורת Cluster. מטרת המחקר לבדוק שהיא טסה אוטונומית. משימה נוספת של סמסון היא לאתר ספינות שמשרדות מלב ים - מטעד (מטען יעודי).

לווייני GEO – לוויני תקשורת כמו עמוס נשלח לגובה של 36000 ק"מ היתרון במרחק הזה הלוויין מסתובב באותו הקצב של כדור הארץ ולכן הוא נשאר קבוע באותו מקום.

לעומת לווייני ננו שנמצאים בגובה של 600 ק"מ ומבצעים 15-16 סיבובים סביב כדור הארץ ב-24 שעות. לוקח לו בערך שעה וחצי להקיף את כדור הארץ.

סל"ה דרך משרד המדע יצאו במכרז פומבי מס' 18/2019 לביצוע משימה חללית לחקר האטמוספירה, העננים והברקים. כמו כן משרד המדע יצא במכרז פומבי מס' 19/2019 לפיתוח, בנייה ושיגור של ננו-לוויין טכנולוגי.

במכון אשר לא עושים מחקר עושים פרויקטים. מחקרים עושים בפקולטות ופרויקטים עושים במכונים.

יש מספר מחקרים שעושים באקדמיה הקשורים לחלל. בטכניון יש פרויקט של פרופ' יואב שכנר בפקולטה לחשמל – פרויקט מחקר בין הטכניון במימון ERC בהיקף של 14 מיליון יורו.

ב-2016 פורסם דו"ח של נאסא³⁸ העוסק בננו לוויינים (CubeSats) המסביר למה טכנולוגיה זו תהפוך Disruptive Technology – האמריקאים הבינו שזו טכנולוגית העתיד.

אמזון וגוגל שתי חברות גדולות גם הן נכנסות לתחום זה. SpaceX תשגר את הלוויינים עבור אמזון.

Plante Labs חברה בארה"ב שבה עשו החלטה אסטרטגית שהם משגרים ננו לוויינים זולים. מדינת ישראל בנתה בפרויקט "ונוס" (שיתוף פעולה של ישראל צרפת) לוויין גדול שעולה 600 מיליון ₪. ננו לוויין שמשגרים היום עולה 50-70 אלף דולר. לכל לוויין יש משימה. המשימה של Plante Labs היא צילום, של אמזון היא לתת

³⁸ National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016. *Achieving Science with CubeSats: Thinking Inside the Box*. Washington, DC: The National Academies Press. doi:10.17226/23503

אינטרנט לעולם. לכל אחד יש משימה אחרת. בסמסון אנחנו רוצים תקשורת בין הלוויינים – זאת משימת המחקר שלנו.

קיימים מספר סוגי תקשורת לוויינים:

1. **תקשורת ללוויין** – לפקח עליו, לקבל ממנו טלמטריה, לקבל ממנו נתונים על הסטטוס שלו – uplink **תקשורת מהלוויין לקרקע** – ברוב המקרים זה ה"לינק החלש" כי אין מספיק חשמל – downlink זה משמש לפקוד וטלמטריה command and control
2. הסוג השני הוא העברת DATA – צריך תקשורת שונה עם רוחב פס גדול – זו המגבלה העקרית בהעברת נתונים לכן צריך לדאוג שכשהלוויין עובר מעליך תצליח להוריד הכי הרבה אינפורמציה. לכן הפיתוחים העתידיים הם במטרה להגדיל את קצב העברת המידע תקשורת טלוויזיה מעבירה דרך לווייני גאו שנמצאים במרחק של 30,000 ק"מ. זה לוויינים שנמצאים כל הזמן מעל אותה נקודה והם משדרים עם קידוד מאוד מסובך.

פעילות **באקדמיה** בתחום החלל:

טכניון – אנחנו בין המתקדמים אף אוניברסיטה בארץ לא בנו 3 לוויינים ברמה הזו

בן גוריון – בנו לוויין BGUSAT שמב"ט בנו להם בגודל U6

ת"א – הקימו לפני שנה קבוצה שבונה לוויינים מתחרים מול הטכניון על המרכז עם הצרפתים

אריאל – רוצים להכנס לפעילות

פעילות **בתעשייה** – מבת, אלביט, רפאל, אלטא, אלאופ

בתקשורת לוויינית יש בעיה פיזיקלית – השיהוי (delay) לאינפורמציה לוקח זמן להגיע מפה ללוויין וחזרה. ככל שהלוויין קרוב יותר לכדור הארץ זה לוקח פחות זמן. בעבר ניסו לפתור את הבעיה באמצעות פיתוח פרוטוקולים ושיטות שמנסים לקצר את הזמן. הבעיה הזו קיימת גם בתקשורת בין לוויין אחד ללוויינים אחרים.

המטרה להשיג תקשורת כמה שיותר רחבה והמיצגת את כל הספקטרום באופן יעיל.

בתקשורת יש מדד שנקרא Bit per spectrum - אם יש רוחב פס נתון באפנון א' ניתן להשיג לדוגמא 4 ביט להרץ ובאפנון ב' 100 ביט להרץ. לדוגמא חברת רמון צ'יפ מייצרים צ'יפים שיודעים להעביר הרבה מגה הרץ – אבל הם נתקלים בבעיה שזה דורש הרבה חשמל ולפעמים בסוף זה לא מעשי.

מנסים לפתח פתרונות במספר תחומים –

- סיבים אופטיים
- תקשורת קוונטית – עובד בקצבים של פי מיליון – גוגל עובדים על זה – טוענים שהמחשב שלהם כבר עובד בטכנולוגיה הזו
- פיתוח לוויינים HTS – סוג של לוויינים שמעבירים מידע בקצב גבוה High throughput satellites

הכיוון צריך להיות פיתוח בטכנולוגיות האלה שיתאימו לחלל – אלמנטים חסיני חלל – רכיבים שיכולים להיות בחלל ולא יתקלקלו. בחלל יש בעיות שצריך להתייחס אליהם כמו קרינה/יונים שיוצרים קצר ועוד.

בתקשורת צריך לפתח – זיכרון לאיסוף מידע, מעבד מהיר לטיפול במידע ומשדר שיכול להוריד מידע באופן יעיל.

בטכניון יש מרכז קוונטים בפקולטה לחשמל.

יש מחשב קוונטי גם בפיזיקה.

4.8.1.2 סיכום ראין עם אבי בלסברגר - מנהל סוכנות החלל הישראלית

סל"ה משקיעה בכל התחומים שקשורים לחלל. התקציב השנתי של סל"ה הוא 20 מיליון ₪. אין הפרדה או הקצבה לתחומים. סל"ה מפרסמים מכרזים וקולות קוראים – כל הצעה נבחנת לגופו של עניין. סל"ה היא "בעלת

הבית" של כל תוכניות החלל האזרחי בישראל. סל"ה ממנים גם פרויקטים דרך רשות החדשנות וגם דרך משרד המדע.

דוגמאות למימון דרך רשות החדשנות: מאגד ג'נסיס (ראה הרחבה סעיף 1.5); חברת NSLComm שעוסקת בתחום קיבלה מענקים. גם חברות כמו NovelSat ו-רמון צ'יפ ממומנות דרך מענקים של סל"ה.

אפיק נוסף שמממן את תחום החלל הם מפא"ת.

תחום התקשורת הלוויינית הוא תחום מתפתח ולישראל יש יתרונות ייחודיים – הממשלה צריכה להשקיע יותר כדי שישראל תוכל להיות שחקן משמעותי יותר. כמו כן לישראל יש מגבלות של יצוא. זוהי מגבלה של מדיניות ממשלתית. לדוגמא, חברת NSLComm היא חברה מיוחדת אין עוד חברה בעולם שדומה לה. ההצלחה שלה תלויה בגובה ההשקעות.

יש קבוצות של חוקרים באקדמיה – יש קבוצה בתל אביב, יש קבוצת חוקרים בבן גוריון.

ביוני 2019 יצא מכרז: קול קורא להגשת הצעות מחקר בתחום: חלל לשנת 2020 – שאפשר לכל אחד להגיש בקשה למימון בכל נושא בו הוא מעוניין. (ראה פירוט בנספח ה').

4.8.2 נספח ב': דוגמאות לחברות סטארט אפ בתחום

חברת Sky and Space Global³⁹

חברת Sky and Space Global פיתחה מערך של ננו-לוויינים במטרה לספק שירותי תקשורת לוויינים. ב-2/2019 החברה גייסה כ-15 מיליון דולר בהקצאת מניות פרטית בבורסה של אוסטרליה (ASX) שבה היא נסחרת, וצפויה להשתמש בכספי הגיוס כדי לשגר לחלל, עד אמצע השנה, מקבץ ראשון של 16 ננו-לוויינים, וזאת מתוך מערך כולל של 200 ננו-לוויינים שצפויים להיות משוגרים לחלל במהלך 2020.

מערך הלוויינים הזעירים שישוגר לחלל מיועד לספק שירותי תקשורת מסביב לשעון כדוגמת העברת נתונים וקול, הודעות M2M (Machine-to-machine), ותקשורת IoT למדינות באפריקה, דרום אמריקה ומזרח אסיה הנמצאות על קו המשווה, כמו ברזיל, קולומביה, קונגו, אתיופיה, אינדונזיה ועוד, שבחלקן הזמינות של תקשורת סלולארית ואינטרנט לוקה בחסר בהיעדר תשתיות קרקעיות של סיבים אופטיים. המטרה היא כי מערך הלוויינים יוכל גם לשמש לאספקת תקשורת לשירותי חירום כמו חיפוש והצלה, ניהול אזורי אסון ואבטחה, ושירותים נוספים כמו תקשורת סלולארית, תקשורת ימית, טלוויזיה אינטראקטיבית, חקלאות חכמה, איתור בעלי חיים וכספומטים.

בחברה מעריכים כי ההכנסות השנתיות, הצפויות על סמך החוזים הקיימים, מאספקת שירותים באמצעות המקבץ הראשון ינועו בין 10-12 מיליון דולר אוסטרלי (7.1-8.6 מיליון דולר אמריקאי). מנכ"ל החברה מאיר מועלים ציין כי הגיוס מסמן נקודת ציון משמעותית בהתפתחות החברה. בעבר דיווחה החברה על שני לקוחות: הסכם בהיקף של כ-3 מיליון דולר אוסטרליים עם חברת SatSpace Africa לקבלת שירותי תקשורת לוויינים והסכם כוונות עם חברת BeepTool, המספקת שירותי מסרים ותשלום לכ-800,000 לקוחות באפריקה.

חברת NSLComm⁴⁰

חברת NSLComm שהוקמה ב-2015 משנה את הפרדיגמה של תקשורת לוויינים ומאפשרת הוזלה דרמטית של עד פי 10 בעלויות התקשורת ע"י פריסה של אנטנה גדולה מהלוויין בחלל. NSLComm היא מהחברות הישראליות הבודדות הפועלות באחד התחומים החדשניים ביותר: תעשיית ה"New-Space", מדובר בתעשייה פורצת דרך בכל קנה מידה, שמדינות בודדות בעולם לוקחות בה חלק משמעותי, ישראל ביניהן. פריצת הדרך הטכנולוגית של NSLComm טמונה במערכת התקשורת הלוויינית שפיתחה החברה, המבוססת על אנטנה נפרסת. מדובר באנטנה עשויה מפולימר ייחודי – SMP – Shape Memory Polymer הנפרסת בחלל ומאפשרת תקשורת פס רחב ללוויינים קטנים.

³⁹ מתוך אתר techtime כתבה: "Sky and Space גייסה 12 מ' ד' – ותשגר לחלל מקבץ מסחרי ראשון של ננו-לוויינים"

<https://techttime.co.il/2019/02/20/sas/>

⁴⁰ מתוך כתבה באתר הידען: "הלוויין הישראלי NSLSat-1 של חברת NSLComm ישוגר לחלל מרוסיה"

<https://www.hayadan.org.il/the-nlsat-1-satellite-of-nslcomm-will-be-launched-into-space-from-russia-0407192>

הלווין של NSLComm מאפשר העברת נתונים בקצב הגבוה פי 100 מלוויינים בעלי אותו גודל, חסרי האנטנה הנפרסת של NSLComm. בנוסף, הננו-לוויינים של NSLComm מסוגלים לספק קצב העברת נתונים של מעל 1 גיגה-ביט לשנייה על פני כל נקודה בכדור הארץ, לעומת 20 מגה ביט לשנייה בלוויינים בעלי גודל זהה, ללא הטכנולוגיה של NSL.

החברה מכוונת בשלב הראשון לתעשיות הביטחוניות, ל-IOT ולתעשיות הרכב – שוק המוערך בהיקף של כ- 50 מיליארד דולר בשנה. NSLComm הודיעה גם על שיתוף פעולה עם שירותי הרשת של אמזון – AWS (Amazon Web Services) רשת תחנות קרקעיות ללוויינים של אמזון.

החברה גייסה עד היום 16 מיליון דולר. המשקיעים הראשונים של החברה כוללים את קרן הון הסיכון JVP וליברטי -חברת הכבלים והלוויינים מהגדולות בעולם באמצעות Liberty Technology Venture Capital. המשקיעים הנוספים בחברה הינם OurCrowd Cockpit Innovation ו-GF Hawk. החברה זכתה לתמיכה גם מסוכנות החלל הישראלית.

4.8.3 נספח ג': רשימת 32 החברות בתחום תקשורת לווייניים מתוך המאגר של Startup Nation Central Finder

name	tag_line	founded	sector	funding_stage	product_stage	employees
Israel Aerospace Industries	Military and Commercial Aerospace Technology	1953	Industrial Technologies	Established	Released	"500+"
Rafael Advanced Defense Systems	Military Defense Systems and Related Commercial Applications	1948	Security and Safety Technologies	Established	Released	"500+"
Gilat Satellite Networks	Satellite Broadband Communications	1987	Mobile and Telecom Technologies	Public	Released	"500+"
Spacecom Satellite Communications	Fixed-satellite Communication Services	1989	Mobile and Telecom Technologies	Public	Released	"51-200"
SpaceIL	Lunar Spacecraft	2010	Industrial Technologies	Revenue Financed	Released	"51-200"
SatixFy	System-on-Chip for Satellite Communications	2012	Mobile and Telecom Technologies	B	Released	"51-200"
ImageSat International	End-to-end Geospatial Intelligence	1997	Security and Safety Technologies	Established	Released	"51-200"
Foxcom	RF over Fiber Solutions	1993	Mobile and Telecom Technologies	Established	Released	"51-200"
NovelSat	Modulation Solutions for Satellite Communications	2007	Mobile and Telecom Technologies	Revenue Financed	Released	"51-200"
Orbit Communications Systems	Tracking-based Communications and Airborne Audio Management Solutions	1950	Mobile and Telecom Technologies	Public	Released	"51-200"
PlanetWatchers	Natural Resource Management System	2016	Agro and Food Technologies	Seed	Released	"11-50"
Sky and Space Global	Nanosatellite Communication Network	2015	Mobile and Telecom Technologies	Public	Released	"11-50"
hiSky	Voice and Data Satellite Communications System	2015	Mobile and Telecom Technologies	Seed	Released	"11-50"
Utilis	Satellite-based Leak Detection	2013	Cleantech	B	Released	"11-50"
GetSAT	Satellite Communications Systems	2013	Mobile and Telecom Technologies	A	Released	"11-50"
VideoFlow	Solutions for Improving IP Network Reliability	2010	Mobile and Telecom Technologies	Revenue Financed	Released	"11-50"
RFOptic	Radio-frequency-over-fiber and Optical-delay-line Solutions	2009	Mobile and Telecom Technologies	Revenue Financed	Released	"11-50"
Galileo Satellite Navigation	Solutions for the Civil GNSS/GPS Market	2009	Mobile and Telecom Technologies	A	Released	"11-50"
NSLComm	Ultra-high Bandwidth Satellite Communication System	2009	Mobile and Telecom Technologies	B	Released	"11-50"

OriginGPS	GNSS and Antenna Solutions	2006	Mobile and Telecom Technologies	Revenue Financed	Released	"11-50"
Ayecka Communication Systems	IP and Video Delivery over Satellite	2005	Mobile and Telecom Technologies	Revenue Financed	Released	"11-50"
Vectria Technologies	Radio Frequency and Microwave Solutions	2002	Mobile and Telecom Technologies	Revenue Financed	Released	"11-50"
EXO Technologies	Predictive Software for Improving GPS Accuracy	2015	Industrial Technologies	Bootstrapped	R&D	"1-10"
Tsofun Algorithms	Algorithms for Optimizing Communication and Storage Systems	2015	Mobile and Telecom Technologies	Seed	Released	"1-10"
MOOnitor	Remote Cattle-monitoring System	2014	Agro and Food Technologies	A	Released	"1-10"
Agricam	Cloud-based Precision Agriculture Platform	2013	Agro and Food Technologies	Revenue Financed	Released	"1-10"
SatMind	IT Solutions for Maritime Support Services	2012	Mobile and Telecom Technologies	Revenue Financed	Released	"1-10"
Screenpeaks	Turnkey Broadcasting Solutions	2001	Mobile and Telecom Technologies	Revenue Financed	Released	"1-10"
Belcom Microwaves	Transceiver Development and Production	2000	Mobile and Telecom Technologies	Revenue Financed	Released	"1-10"
Arazim	Navigation and Communication Systems	1997	Industrial Technologies	Revenue Financed	Released	"1-10"
Mobit Telecom	Satellite Communications and Radio Navigation	1996	Mobile and Telecom Technologies	Revenue Financed	Released	"1-10"
Ability	Cellular and Satellite Interception and Decryption Solutions	1994	Security and Safety Technologies	Public	Released	"1-10"

4.8.4 נספח ד': רשימת מענקי המחקר בתחום תקשורת לווייניים

ERC - (European Research Council)

Year	Researcher	Institute	Title	Budget
2011	Pinchas Pini Gurfil	Technion	Flight Algorithms for Disaggregated Space Architectures	1.5 M Euro

BIRD (Binational Industrial Research and Development) Foundation (It provides conditional grants of up to 50% of a project's budget)

<https://projectsdb.birdf.com/sectors>

1988	Gilat Satellite Networks	Company	Development of a Satellite-Based ULTRA Small Aperture Terminal	
1990	Orckit Communications Ltd.	Company	Development of a Satellite Modem for the Intelsat Intermediate	
1991	Gilat Satellite Networks	Company	Joint Development of GSAT for Lottery Telecommunication Network	
1991	Gilat Satellite Networks	Company	Enhancements to the Next Generation Ultra-Small Aperture	
1992	Gilat Satellite Networks	Company	Thin Route Communications VSAT System	
1994	Tadiran Scopus Digital Video Compression	Company	Compressed Digital Satellite TV Exciter and Receiver	
1995	Shiron Satellite Communications Ltd.	Company	Digital Satellite Communication System	
1996	Comstream Israel Ltd.	Company	Advanced Satellite Modem	
1996	Gilat Satellite Networks	Company	Mobile Satellite TV for Cars	
1997	Shiron Satellite Communications Ltd.	Company	Return Link via Satellite for Internet Access	
2005	RaySat Israel Ltd.	Company	Mobile Internet via Satellite	
2014	Gilat Satellite Networks	Company	Portable Satellite Terminal	
2015	Galileo Satellite Navigation Ltd.	Company	Software GNSS for Cadence Platforms (SGCP)	
2017	NSLCOMM Ltd	Company	Space Qualified Nano Satellite SDR Ka-Band Modem with antenna and feed for high Band Communications	

GIF- (The German Israeli Foundation for Scientific Research and Development)

2011	Gurfil Pinchas	Technion	Control for Cooperative Operations of Multiple Satellites	
------	----------------	----------	---	--

4.8.5 נספח ה' - רשימת קולות קוראים בסל"ה

1. מכרז פומבי מס' 2019\15 לניהול קהילת "הוריזון" - קהילת מחנכי ומובילי החלל הישראלית
תאריך פרסום: 01.08.2019
2. קול קורא להגשת הצעות מחקר בתחום: חלל לשנת 2020
תאריך פרסום: 30.06.2019
3. פנייה לקבלת מידע (RFI) בנושא פרויקטים להדגמת יכולת מדעית, טכנולוגית או מסחרית באמצעות ננו לווין
תאריך פרסום: 26.05.2019
4. קול קורא 2019\10 לקידום מחקר ופיתוח בתחומי חלל בקרב תלמידים – פנייה לקבלת הצעות לפרויקט חקר / פיתוח בתחומי החלל לתלמידים בגילאי חטיבה עליונה
תאריך פרסום: 23.05.2019
5. מכרז פומבי מס' 8/2019 לפיתוח יחידת הוראה לבתי הספר התיכוניים בתחומי חלל במסגרת לימודי פיזיקה
תאריך פרסום: 06.05.2019
6. מכרז פומבי מס' 7/2019 למתן שירותי ייעוץ עבור סוכנות החלל הישראלית
תאריך פרסום: 18.04.2019
7. מכרז פומבי מס' 4/2019 למתן שירותי ייעוץ בתחום חינוך וקשרי קהילה עבור סוכנות החלל הישראלית
תאריך פרסום: 18.03.2019
8. קול קורא 2019 להגשת בקשות סיוע לפיתוח מוצרים בתעשיית החלל
תאריך פרסום: 08.01.2019

4.8.6 נספח ו' - רשימת לויני תקשורת מסדרת "עמוס"

שוגר	פוח	עמוס
ב-16 במאי 1996	התעשייה האווירית לישראל	עמוס 1
ב-28 בדצמבר 2003	התעשייה האווירית לישראל	עמוס 2
28 באפריל 2008	התעשייה האווירית לישראל	עמוס 3
ב-31 באוגוסט 2013		עמוס 4
הוצב בדצמבר 2009	לוויין תקשורת משומש מתוצרת חברת בת של לוקהיד	עמוס i5
ב-11 בדצמבר 2011	Reshetnev חברה רוסית	עמוס 5
ב-1 בספטמבר 2016 נהרס הלוויין כליל בעת פיצוץ שאירע במשגר הטיל פאלקון 9 יומיים לפני שנועד לשגר לחלל	התעשייה האווירית לישראל	עמוס 6
שוגר מארצות הברית ב-2014. החל לפעול מסחרית ב-27 בפברואר 2017	בסוף 2016 שכרה חלל תקשורת את AsiaSat 8 כתחליף לעמוס 6	עמוס 7
ב-7 באוגוסט 2019	חברת חלל תקשורת דיווחה כי התקשרה בהסכם עם קבוצת "בואינג"	עמוס 17
מיועד לשיגור בסוף 2021	התעשייה האווירית לישראל	עמוס 8
בשלב תכנון בלבד	נכון ל-2018, נמצא בשלבי תכנון ופיתוח בתעשייה האווירית	עמוס E

4.9 מקורות

בן-יוסף מ' וכהן א' (2011). ישראל בחלל-לא רק לוויינים.

<http://www.israeldefense.co.il/?CategoryID=472&ArticleID=1223>

גץ, ד', כצמן, א', פייקובקי, ד' ואחרים (2008). הערכת ההשפעה של תעשיית החלל על כלכלת ישראל. מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית.

גץ, ד', בוכניק, צ', זלמנוביץ, ב' ואחרים (2014). תשתיות וכוח אדם בתחום החלל האזרחי בתעשייה, באקדמיה ובמערכת החינוך בישראל. מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית.

פייקובסקי, ד' ולוי, ר' (2010). החלל כפרויקט לאומי: תכנית חלל ישראלית ותעשיית חלל מקומית בת קיימא בתוך שנים ספורות. דו"ח מסכם לפעילות צוות הנשיא והמלצות לפעולה. משרד המדע והטכנולוגיה.

ESRE (2017), Selected Trends and Space Technologies Expected to Shape the Next Decade.

https://esre-space.org/wp-content/uploads/2018/01/ESRE_Whitepaper_-2017.pdf

Sinha G. Gaurav (2018), Satellite Communications: Global Market Through 2022, BCCResearch

אתרים באינטרנט

אתר כלכליסט: "עם המבט למעלה: מאסק הכריז על כוונתו להשיק רשת לוויינים לאינטרנט מהיר"
<https://www.calcalist.co.il/internet/articles/0,7340,L-3650118,00.html>

אתר techtme: "Sky and Space גייסה 12 מ' ד' – ותשגר לחלל מקבץ מסחרי ראשון של ננו-לוויינים"
<https://techtme.co.il/2019/02/20/sas/>

אתר הידען: "הלוויין הישראלי NSLSat-1 של חברת NSLComm ישוגר לחלל מרוסיה"
<https://www.hayadan.org.il/the-nlsat-1-satellite-of-nslcomm-will-be-launched-into-space-from-russia-0407192>

<https://finder.startupnationcentral.org/> המאגר של Startup Nation Central Finder

5 משאבי חלל – כריית משאבים בחלל

תודתנו לד"ר רועי צזנה ואבי בלסברגר על הראיונות שקיימנו איתם בנושא.

5.1 רקע

אוכלוסיית כדור הארץ גדלה אך כמות המשאבים על כדור הארץ מוגבלת (Wachowicz et al., 2019). בהתבסס על העתודות של משאבי טבע שיש בכדור הארץ, והצריכה שלהם שהולכת וגוברת הן במדינות מפותחות והן במדינות מתפתחות, התחזית היא כי המשאבים המרכזיים הדרושים לתעשייה ולייצור מזון מודרני על פני כדור הארץ ייעלמו תוך 50-60 שנה. אלה כוללים זרחן, אנטימון, אבץ, עופרת, אינדיום, כסף, זהב נחושת ועוד (The Audiopedia, 2017; Williams, 2019).

מצב זה מחייב להתמודד עם אתגרים גלובליים חדשים כגון: חיפוש אחר מקורות אנרגיה חלופיים; מחסור במלאי מינרלים קריטיים בכדור הארץ; בניית בתי גידול על גופי שמים; הפחתת צפיפות האוכלוסייה בכדור הארץ ותוכניות התיישבות של כוכבי לכת וגופים אחרים של מערכת השמש. השימוש במשאבי הירח ואסטרואידים עשוי לספק פתרון חלקי לאתגרים אלה (Wachowicz et al., 2019).

המונח "משאבי חלל" מתייחס לכרייה וניצול משאבי טבע מאסטרואידים, מכוכבי לכת ומגופים אחרים בחלל. החזון הוא כי ניתן יהיה לכרות מינרלים בירח, מאסטרואיד או מכוכב שביט ולהשתמש בחומרים ישירות בחלל (כחומרי בנייה או כדלק) או לכרות אותם ולהביא אותם לכדור הארץ. לחומרים שייכרו יכולים להיות מספר שימושים. החזון הוא כי ניתן יהיה להוביל לארץ חומרים כמו זהב, אירידיום, כסף, אוסמיום, פלדיום, פלטינה, רניום, רודיום, רותניום וטונגסטן. חומרים כמו ברזל, קובלט, מנגן, מוליבדן, ניקל, אלומיניום וטיטניום ישמשו לבנייה בחלל; מים וחמצן יאספו וישמשו לקיום אסטרונאוטים; וחומרים כמו מימן, אמוניה וחמצן ישמשו כדלק לטילים. ניתן לחלק את המשאבים שניתן לכרות בחלל לשלושה סוגים של משאבים: מינרלים יקרי ערך (משאבים נדירים), חומרי דלק חדשים (מים, פטרוכימיה) וחומרי בנייה לחלל (Wachowicz et al., 2019).

על פי הדו"ח של האיחוד האירופי בנושא "100 Radical Innovation Breakthroughs for the future" עולה כי הטכנולוגיות השייכות לתחום זה עדיין בתחילת הדרך והוא דורג בציון 1 על סקלה של 5-1 בהקשר של "בגרות" (Current Maturity). על פי הדו"ח על מנת לכרות את האסטרואידים תחילה יש לגלות אותם. אכן, בתחום הזה דווקא חלה התפתחות בעשורים האחרונים ונעשה עד היום מיפוי של כ-18,000 אסטרואידים שעבורם קיים מעקב וידוע המסלול המדויק שלהם.

אך זה לא מספיק לאחר גילוי האסטרואידים יש לבחון את פני השטח שלהם. מספר התפתחויות אחרונות שיפרו את היכולת לאתר את חומרי הגלם הזמינים מתחת לפני השטח של גופים הקרובים לכדור הארץ, חברה בקליפורניה מתכוונת לשלוח חללית קטנה בעלות נמוכה לחקירת אסטרואידים עד 2020. התוכנית היא לצייד את החללית במכשירים שאוספים נתונים על הרכב אסטרואידים ובדיקה של היכולת לכרות. לחברות אחרות בארצות הברית ומחוצה להן פרויקטים דומים, וכמה מדינות החלו להציע תמריצים למטרות אלה. נאס"א וסוכנות החלל של יפן פועלות על מנת לקדם תחום זה. גם לבריטניה תוכנית כריית האסטרואידים שעל פי התוכנית ישוגר לוויין בסוף 2020. המשימה שלו תהיה סריקה ספקטרלית כדי לקבוע אם האסטרואיד הוא 'מועמד בר-קיימא' לכרייה. בינתיים, הודו מחפשת קרוב יותר לבית: היא חיפוש אחר חומרים לכרייה בצד הדרומי של הירח.

בנקודות מבט ארוכות טווח ככל שמשאבי המינרלים של כדור הארץ מתרוקנים, אסטרואידים יספקו מאגר של חומרים חיוניים שלא יהיו זמינים או שיהיו יותר ויותר קשה לכרות אותם על הכוכב שלנו. על פי הדיווח האחרון של גולדמן סאקס⁴², כריית אסטרואידים יכולה להיות עסק של טריליון דולר.

⁴¹https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/research_and_innovation/knowledge_publications_tools_and_data/documents/ec_rtd_radical-innovation-breakthrough_052019.pdf

⁴²<https://www.businessinsider.com/goldman-sachs-space-mining-asteroid-platinum-2017-4?r=DE&IR=T?r=UK&IR=T>

5.2 האתגרים הטכנולוגיים של כריית משאבים בחלל

תהליך הכרייה כולל מספר שלבים הדורשים טכנולוגיות מסוגים שונים. תחילה יש לזהות את הגופים בחלל מהם ניתן לבצע כרייה. כלומר תחילה יש "מיפוי" של החלל. השלב השני הוא להתקרב או להגיע לאסטרואידיים שנמצאו כמתאימים ולוודא כי אכן יש עליהם את המחצבים שמעוניינים לכתות. השלב השלישי הוא כרייה וחילוץ המשאבים והעברתם לארץ או למקום השימוש (גולדמן, 2014).

שלושת השלבים דורשים טכנולוגיות שונות.

- לשלב הזיהוי המדענים והתעשייה מציעים לשלוח לחלל טלסקופים קטנים הנקראים "גחליליות" - כלי רכב רובוטיים קטנים שישלחו אותם לאתר אסטרואידיים בקרבת כדור הארץ ולהעריך את תכונותיהם הפיזיים (גודל, קצב סיבוב, מבנה וכו') (Paikowsky & Tzezana, 2018).
 - השלב השני הוא שליחת "שפיריות" - כלי רכב רובוטיים גדולים ומורכבים יותר שיישאו דגימות מהאסטרואיד חזרה לכדור הארץ, ויבצעו מספר בדיקות בחלל (Paikowsky & Tzezana, 2018).
 - השלב השלישי, אחרי שנמצאו אסטרואידיים העונים לדרישות ושהגישה אליהם נוחה, יש צורך בחלליות רובוטיות, שינחתו על הגוף הנבחר, ויחלצו ממנו את המשאבים ויחזרו לכדור הארץ. זהו השלב מאתגר ביותר נכון להיום (גולדמן, 2014). כלומר טכנולוגיות לפעולות הכרייה בחלל אינן קיימות וטרם פותחו ונבדקו. למרות שכבר משנת 2013 קיימות חברות כמו חברת Deep Space Industries (DSI) היא אחת מהן, הכריזה על תוכניתיה להשיק צי גחליליות עד 2015, ולמעשה להתחיל לכתות אסטרואידיים עד שנת 2023 (Paikowsky & Tzezana, 2018).
- סוכנות החלל של לוקסמבורג סיווגה את הטכנולוגיות לפי הקבוצות הבאות (Luxembourg Space Agency, 2018):
- **טכנולוגיות לחקירה** (Prospecting technologies) - טכנולוגיות התומכות בחיפוש אחר המשאב ובחיפוש באמצעות מדידות גיאופיזיות ומינרולוגיות, מיפוי המשאבים לפי צרכים ואיסוף נתונים התומכים באפשרויות הניצול.
 - **טכנולוגיות כרייה** (Mining technologies) - טכנולוגיות המאפשרות כריית המשאבים, תחבורה בחלל וטיפול במצבורי המשאבים.
 - **טכנולוגיות תובלה ואספקה** (Transport and supply technologies) - טכנולוגיות המאפשרות הובלת המשאבים בחלל עד לאחסון או ניצול ו/או הבאתם לכדור הארץ.
 - **טכנולוגיות עיבוד** (Refinement technologies) - טכנולוגיות המאפשרות עיבוד של החומר על מנת להשיג את המוצרים הסופיים כמו עיבוד חומרים לצורת ביניים או מוצר סופי.
 - **טכנולוגיות ייצור** (Manufacturing technologies) - יצירת אלמנטים מבניים בחלל וייצור כלים הדרושים לחלל או להמשך התהליך; למשל באמצעות הדפסת תלת מימד בחלל.
 - **טכנולוגיות לאספקה (אחסון)** (Supply (storage) technologies) - טכנולוגיות לאחסון והעברה של המשאבים, בפרט לגבי חומרים מתחמצנים ודלקים.
 - **טכנולוגיות תמיכה** (Support technologies) - טכנולוגיות נדרשות לאורך כל שרשרת הערך והכרחיות לתמיכה בתהליכים לניצול משאבי החלל, כולל טכנולוגיות תוכנה, רובוטיקה, תקשורת ואנרגיה.

הדוח של הסוכנות הלאומית לחלל של לוקסמבורג מציג את התחזית להתפתחות טכנולוגיות בתחום משאבי חלל בעתיד הקרוב (עשר שנים) הבינוני (20-15 שנה) והארוך (יותר מ-20 שנה) משלוש מקורות הירח, אסטרואידים. על פי התחזית פריצת הדרך תהיה רק בעוד 15-20 שנה והיא תתחיל מהירח ורק מאוחר יותר מהמקורות האחרים (Luxembourg Space Agency, 2018)

תהליך פיתוח הכרייה בחלל כולל בתוכו לא רק אתגרים טכנולוגיים אלא גם אתגרים מדיניים. כרייה בחלל הוא נושא שנוי במחלוקת תחת החוק הבינלאומי. באמנות הבינלאומיות נטען כי חיפוש משאבים בחלל צריך להתבצע כך שכל המדינות ייהנו ממנו (דה-מרקר, 2016).

לטכנולוגיות של כריית משאבים בחלל יש פוטנציאל כלכלי עצום - השאלה היא האם הטכנולוגיות בשלות מספיק? ד"ר רועי צזנה, חוקר עתידנות ישראלי, נוטה להאמין שלא, אך הוא סבור שכן נראה תוצאות משמעותיות עד סוף העשור. (למרות שבהחלט ייתכן שעד ל-2030 יישלחו גישויות⁴³ מחקר לאסטרואידים, ואולי אפילו יתבצע ניסיון מוצלח של גרירת אסטרואיד לכדור הארץ).

5.3 הערכה כלכלית של שוק משאבי חלל

שווי השוק של מתכות יקרות באסטרואידים ספציפיים עשוי לשנות באופן מהותי את הדינמיקה של היצע וביקוש של משאבים. אסטרואיד בודד עשוי להכיל משאב בהיקפים משמעותיים בהשוואה לשימוש שלו על כדור הארץ. פיתוחים וההשקעות שנעשות בתחום החלל על ידי חברות כמו SpaceX ו-Blue Origin גורמות לירידת מחירים של טיסות מסחריות לחלל. עובדה זו יכולה להפוך את כריית אסטרואידים להזדמנות השקעה לטווח הקרוב עבור יזמים ומשקיעים כאחד. טכנולוגיות המפותחות לתחומי החלל על ידי חברות סטארט-אפ הולכות ומתממשות במהירות. חלק מהטכנולוגיות רלוונטיות לחברות הכרייה של אסטרואידים ומושך את המדיה והמשקיעים, עד הרבעון השני של שנת 2017 בוצעו עסקאות בסך של 157 מיליון דולר (CBINSIGHTS, 2017).

על פי סוכנות החלל האירופאית, צפי ההכנסות של שוק משאבי החלל בשנים 2018-2045 מוערך ב-73-170 מיליארד אירו והיקף התעסוקה בתחום יעמוד על 845 אלף עד 1.8 מיליון שנות עובדים במשרה מלאה. ההערכות של שווי הטכנולוגיות והידע שיפותח יעמוד על סדר גודל של 2.5 מיליארד יורו במשך 50 שנה. ההערכות מנבאות כי חלחול הידע של הטכנולוגיות המפותחות יתרום לפיתוח סטנדרטים חדשים וכך יהיה להן תרומה לתועלות חברתיות, אסטרטגיות וסביבתיות. (European Space Agency (ESA), 2018).

5.4 תעשיית משאבי חלל בעולם

מספר השחקנים הבינלאומיים והלא ממשלתיים שמתכננים משימות אל הירח נמוך. אלה כוללים חברות פרטיות שמטרתן הראשונית היא חיפוש משאבים על הירח. חלק מהחברות נתמכות באמצעות התוכנית המסחרית של משאבי חלל של נאס"א (CLPS⁴⁴). לכמה מחברות אלה, כוללת חברות כמו: iSpace, Moon Express ואולי הכוללת ביותר Blue Origin (בבעלותו ומימונו של המיליארדר ג'ף בזוס), יש עניין ברור במשאבי הירח. (European Space Agency (ESA), 2018).

לחברות כרייה יבשתיות ככלל ולחברות כרייה בחלל בפרט מבנה כלכלי שונה מזה של מרבית התעשיות. הקמת מכרה דורשת השקעת הון ראשוניות אדירות בכדי להבטיח זכויות כרייה, היתרים, מימון ואז השקעה בבניית מתקני עיבוד, תשתיות כרייה ושינוע המשאב לשוק. רק אז חברת כרייה מתחילה לייצר הכנסות ומתחילה לקבל תשואה על ההשקעה. פיתוח וכריית משאבים בחלל תעמוד בפני מכשולים ואתגרים דומים.

חברות כרייה נתקלות בסוגיות שונות, שמתעצמות כאשר החברה מעוניינת לזכות בחלל. חברות שירצו לזכות משאבים בחלל יצטרכו לשקול את סוגיות המפתח הבאות: (Anderson, Christensen, & Lamanna, 2019)

⁴³ גישויות- היא חללית בלתי מאוישת המשוגרת לחקור את הירח, כוכבי לכת וגופים אחרים במערכת השמש, כולל השמש עצמה
⁴⁴ CLPS-Commercial Lunar Payload Services <https://www.nasa.gov/content/commercial-lunar-payload-services>

- אבטחת החכירה: האם חברת הכרייה יכולה לקבל זכות חוקית לחקור, לפתח ולכרות מינרלים בחלל/ירח/אסטרואידי?
- משטר פסקלי: איזה נטל כלכלי (כמו מיסים, תמלוגים וחובות יצוא) יחולו על מיזם הכרייה?
- בנקאות: האם החוקים המסחריים הבינלאומיים מאפשרים למשקיעים לממן את הפרויקט?
- אכיפה: האם ההסכמים, הרישיונות, הזיכיונות וההתחייבויות ניתנים לאכיפה על ידי החוק הבינלאומי והאם הפרויקט בטוח מהפקעה או הלאמה?

כפי שתואר קודם, תחום משאבי החלל כולל בתוכו טכנולוגיות השונות זו מזו (כגון: רובוטיקה, כרייה, גאולוגיה ועוד) ולכן קיים קושי למפות את החברות שעוסקות בתחום. למרות זאת יש מספר חברות מובילות המזהות עם תחום משאבי החלל. להלן פירוט החברות הידועות והמובילות:

Planetary resources

Planetary resources הוקמה על ידי פיטר דימנדיס ואריק אנדרסון בשנת 2009 במטרה לכרות מתכות ומים מאסטרואידיים. המשקיעים הגדולים של החברה כללו את ממשלת לוקסמבורג, מנכ"ל גוגל לארי פייג', רוס פרוט והקולנוען ג'יימס קמרון. יעדי החברה כוללים: אספקת דלק וחומרי גלם שיהיו אינטגרליים לכל המשימות לטווח הארוך, ברי-קיימא וניתנים להרחבה לירח, למאדים ומחוצה לו; כריית מים מאסטרואידיים שישמשו כדלק לחלליות ולוויינים, תמיכה בחיים לכוח עבודה בחלל, מיגון קרינה וגידול מזון; חילוץ מתכת מאסטרואידיים שיודפסו בתלת מימד למבנים ורכיבים הדרושים בחלל (Anderson et al., 2019).

Deep Space Industries (DSI)

DSI הוקמה בשנת 2013. בעבר החברה תכננה להשיק רשת של גישושיות בעלות נמוכה. סדרת הלוויינים שלה 'Prospector' כללה חלליות קטנות שפותחו לאתר, לנחות ולהעריך את המשאבים שנמצאים על האסטרואידיים. נכון לעכשיו, ל- DSI יש מטרה כללית יותר להשתמש בטכנולוגיה שלה לביצוע מחקר מדעי של אסטרואידיים, תמיכה במחקר העוסק ביצור בחלל ולהיכנס לשווקים ורטיקליים אחרים (Anderson et al., 2019).

Moon Express

Moon Express הוקמה בשנת 2010 על ידי בוב ריצ'רדס, נייבן ג'יין וברני פל. החברה מתכננת לכרות מים ומשאבים אחרים בירח. Moon Express זכתה לאחרונה במיליון דולר בתחרות X-Prize על היותה החברה הלא ממשלתית הראשונה שהציגה ובחנה חללית שתנחת על הירח. היא מקווה לזכות ב-20 מיליון דולר נוספים על ידי הנחתה על הירח את החללית שלה MX-1E. Moon Express הייתה החברה המסחרית הראשונה שקיבלה אישור מארצות הברית להנחת חללית על הירח (Anderson et al., 2019).

Ispace

Ispace היא חברה יפנית שהוקמה בשנת 2013, מתמחה ברכיבים רובוטיים במשקל 4 ק"ג בלבד, שממדיהם הזעירים הופכים אותם לזולים יחסית לשיגור לחלל. החברה מעסיקה 40 עובדים וניהלה את פרויקט Hakuto, אחד מחמשת המועמדים הסופיים בתחרות Lunar Xprize של גוגל. היא גייסה מימון של 10 מיליון דולר על ידי מכירת שטח פרסום על הרכב הרובוטי. קייל אקיינרנו, מנכ"ל ispace אירופה, חוזה כי הירח ייכרה לפני האסטרואידיים וכי הכלים של ispace ישמשו לחיפוש אחר משאבים על הירח בשטחים שטרם נחקרו על ידי האנושות (Cornish, 2017).

5.4.1 השקעות פרטיות בתחום משאבי חלל

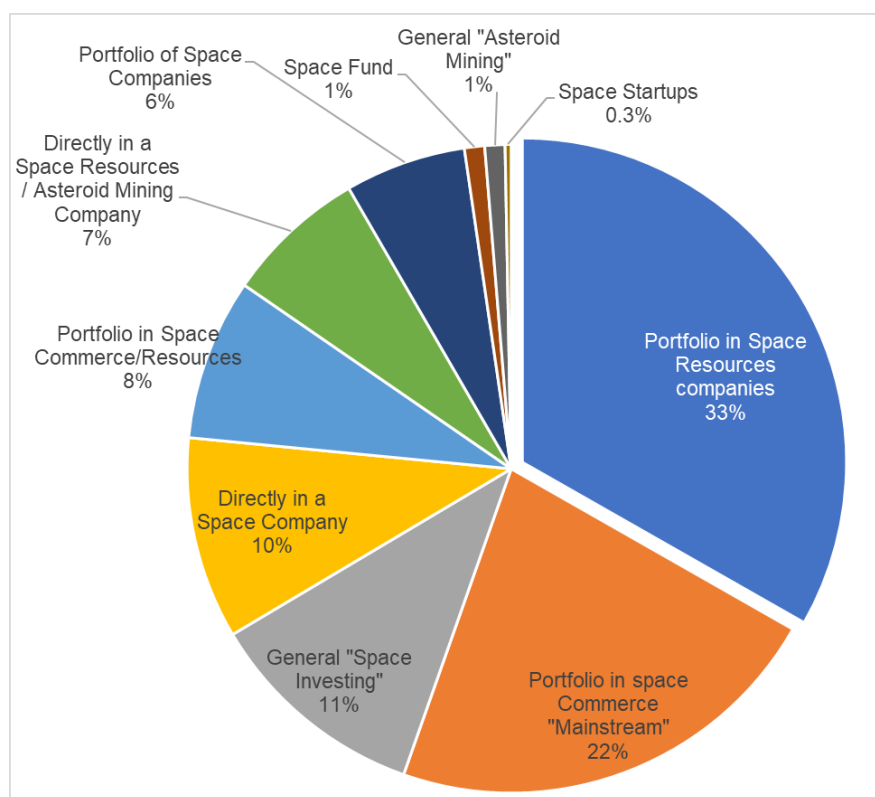
יש קושי במעקב אחר מקורות השקעה פרטיים לפרויקטים בחלל. עם זאת, עדויות עדכניות מראות השקעות חסרות תקדים מאנג'לים ומקרנות הון סיכון בסטארט-אפים ובחברות שהוקמו לאחרונה העוסקים בפיתוח טכנולוגיות בתחומי החלל, אם כי הסכומים עדיין נמוכים בהשוואה למימון ציבורי. ההשקעות של מיליארדרים במיזמים שונים בחלל גדלו בחמש השנים האחרונות. מרבית חברות החלל האחרונות ממומנות באופן פרטי (למשל Space X, Blue Origin) ואינן נסחרות באופן ציבורי. מתוך רשימה של 16 מיליארדרים (ראה נספח ב') שלושה השקיעו בתחומים של משאבי חלל. שתי השקעות בוצעו על ידי לארי פייג' (Larry Page) ואריק

שמידט (Eric Schmidt) מגול. שתי ההשקעות היו בחברת Planetary Resources. השקעה נוספת בוצעה בחברת Windward על ידי לי קה-שינג (Li Ka-Shing). (OECD Publishing, 2019).

גם לפי הנתונים של חברת CBINSIGHTS המציגים היסטוריה של השקעות בתחום כריית אסטרואידים ניתן לראות שלוש חברות דומיננטיות בתחום כריית משאבי חלל - Planetary resources, Deep Space Industries, Moon Express. עד שנת 2017, חברת Planetary resources גייסה 48.8 מיליון דולר (2017). גם חברת Moon Express גייסה סכום דומה של 47.7 מיליון. חברת Deep Space Industries גייסה סכומים נמוכים בהרבה (1.3 מיליון דולר) (CBINSIGHTS, 2017).

מנתונים של חברת Space Ventures Investors (SVI)⁴⁵ נתונים על ההעדפת משקיעים בתחום החלל עולה כי 59% מעדיפים השקעות בתחום המסחר בחלל (space commerce) ו-41% מעדיפים השקעות בתחום משאבי חלל (Space Ventures Investors, 2019). האזור הבא מציג את העדפת המשקיעים לפי ורטיקליים.

איור 23: העדפת המשקיעים בתחום החלל לפי ורטיקליים



מקור: עיבוד מוסד שמואל נאמן ל: (Space Ventures Investors, 2019)

5.5 פעילות בינלאומית ממשלתית בתחום משאבי חלל

על פי דו"ש של סוכנות החלל האירופאית ניתן להתמודד עם אתגרי משאבי החלל רק באמצעות מאמץ בינלאומי מתואם. המדיניות וההשקעות שנקטות על ידי השחקנים הבינלאומיים הגדולים בחלל יהיו המפתח לקידום משאבי החלל ויישומם. העניין והפעילות הבינלאומית בתחום כריית משאבי חלל גוברים (European Space Agency (ESA), 2018).

⁴⁵ Space Ventures Investors Ltd (SVI) is a shareholder driven company firm raising capital to invest in early stage space start-ups. We focus on start-ups which solve existing inefficiencies, and take advantages of new opportunities, in the emerging space commerce sector. <http://www.spaceventuresinvestors.com/index.html>

אירופה

באירופה, בנוסף לפעילות של סוכנות החלל האירופאית (ESA), מתקיימות יוזמות לאומיות ובינלאומיות שונות בתחומים מגוונים הכוללים פיתוח טכנולוגי, מסמכי מדיניות והיבטים משפטיים, מחקר מדעי ופעילויות מסחריות. כולל יוזמה של לוקסמבורג, שחתמו על הסכמים עם מספר מדינות אירופיות אחרות בנוגע לשיטופי פעולה בתחום זה (ראה פירוט בהמשך). בנוסף יש פעילויות אחרות ברמת אירופה שמתחילות באמצעות European Commission המתמקדות בנושא פיתוח טכנולוגי ומחקר אקדמי. דוגמאות לכך כוללות פרויקט LUVMI prospecting rover⁴⁶ ו- RegoLight regolith construction⁴⁷ (European Space Agency), (ESA), 2018).

לוקסמבורג

בפברואר 2016 הכריזה לוקסמבורג על תוכניתיה לחוקק חוק שיהפוך אותה למדינה הראשונה באירופה שתעניק בהירות משפטית לחיפוש מסחרי של אסטרואידיים. המטרה של לוקסמבורג להיות בין עשר המדינות המובילות בעולם בפעילות בחלל. לקידום המטרה להפוך למובילה בתעשיית הכרייה בחלל הקצתה לוקסמבורג 200 מיליון יורו למימון יוזמות שנועדו להביא מינרלים מהחלל אל כדור הארץ (דה-מרקר, 2016).

ארה"ב

בארצות הברית, הדגש על חקר הירח הוליד את העניין והפעילות בתחום משאבי הירח כאשר שחקנים ציבוריים ופרטיים כאחד חוקרים תחום זה. השקעות עתידיות צפויות על ידי נאס"א, כהמשך לפעילות שבוצעה בעבר במסגרת יוזמות ראשוניות קודמות. השימוש במשאבי הירח נבחן בהקשר של פיתוח משימות אנושיות עתידיות לירח, לצורך יעול בהכנה ויישום של משימות למאדים. ארה"ב מכשירה גם כלים משפטיים על מנת להגדיר את זכויותיהם של שחקנים אמריקנים אשר יבקשו לכרות ולנצל משאבים בחלל. (European Space Agency (ESA), 2018). דוגמא לכך היא העובדה כי באוגוסט 2016 שחררה ממשלת ארה"ב את אחיזתה היקרה והבלעדית בירח והעניקה אישור לחברה בשם Moon Express⁴⁸ לטוס אליו ולהנחית עליו חללית רובוטית. Moon Express היא החברה הפרטית הראשונה בהיסטוריה שקיבלה היתר ממשלתי שכזה (ליה אור, 2018).

סין

הסינים משקיעים מיליארדים כדי להגיע לירח ולחצוב ממנו. הם מנהלים תכנית חלל מתקדמת הכוללת הקמת תחנת חלל פרטית משלהם, ושליחת מטע"דים (מטענים ייעודיים) לחקור את הגיאולוגיה שעד כה לא נחקרה לעומק של הצד האפל של הירח. גם הם רוצים לפתור את בעיות האנרגיה של היקום, ולחצוב הליום-3, ובעיקר להשיג עליונות אסטרטגית משמעותית על המערב (ליה אור, 2018). החזון של סין לגבי תחנת מחקר ירח בינלאומית, שתוקם בתחילה כמתקן רובוטי למדע ומחקר בשלהי שנות העשרים ותחילת 2030, עשויה להוות הזדמנות להקדים את השימוש במשאבי הירח (ESA), 2018).

רוסיה

המשימה הרוסית העתידית Luna-27, הכלולה בחבילת ה- PROSPECT של ESA⁴⁹, מכוונת למדידות באזור הקוטב של הירח, תוך דגש על משאבים שעלולים להימצא שם. לא ידוע על קיום פעילויות או תוכניות ספציפיות לפעילות הקשורה במשאבי חלל מעבר למשימה זו.

⁴⁶ The Lunar Volatiles Mobile Instrumentation (LUVMI) rover family provides a smart, low mass, innovative, modular and extendable platform designed to accommodate payloads and provide payload mobility on the moon. It is tele-operated with optional autonomous modes to allow for faster traverses and for safety when entering Permanently Shadowed Regions. <https://www.spaceapplications.com/wp-content/uploads/2019/05/2-product-sheet-luvmi.pdf>

⁴⁷ The aim of project RegoLight is to further develop existing 3D printing technologies and methodologies for the purpose of 'sintering' and 'shaping' lunar regolith (loose layer of dust, soil and broken rocks on the Moon surface) using the sun as an infinite source of energy; for the purpose of fabricating buildings elements for use in future lunar missions. <https://regolight.eu/>

⁴⁸ <http://www.moonexpress.com/>

⁴⁹ Package for Resource Observation and in Situ Prospecting for Exploration Commercial exploitation and Transportation (PROSPECT) <http://exploration.esa.int/moon/59102-about-prospect/>

תוכניות לחקר חלל בינלאומיות

מפת הדרכים The Global Exploration Roadmap (GER) שהוכנה על ידי International Space Exploration Coordination Group (ISECG) מתארת את התכנון לחקר החלל ב-15 מסוכנויות החלל בעולם. מפת דרכים זו מספקת סקירה של המשימות הצפויות והטכנולוגיות לבדיקה בחלל לשנים הקרובות. חלק מהדו"ח מתאר גם משימות שעשויות לקדם את תחום הכרייה והניצול של משאבי החלל ומספקת ציר זמן עם התייחסות לחקר הירח. ISECG מספק פורום לתיאום אסטרטגי בינלאומי והוא הכלי העיקרי לדיאלוג בינלאומי בחקר החלל כאשר אחד הנושאים הוא משאבי חלל. הוקם פורום בנושא "Exploring and Using Lunar Polar Volatiles"⁵⁰ (European Space Agency (ESA), 2018).

דין בין ממשלתי

נושא משאבי החלל כרייה וניצול נדון גם ברמה הבין ממשלתית באו"ם. מאז 2017 ועדת המשנה Legal Subcommittee of the UN Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS)⁵¹ האו"ם דנה בדעות וחוות דעת לגבי ההיתר והמסגרת החוקית שניתן יהיה לתת לשימוש ולניצול משאבי החלל. הדעות המשפטיות והפוליטיות בקרב 87 המדינות החברות ב-COPUOS ביניהן גם ישראל (כולל מרבית המדינות החברות ב-ESA, כאשר הסוכנות נוקטת בתפקיד משקיפה קבועה) חלוקות, למרות שנראה שיש הסכמה הולכת וגוברת לגבי התועלת בהשגת הבנה בינלאומית רחבה (European Space Agency (ESA), 2018).

5.6 תעשיית משאבי החלל בישראל

בחיפוש במאגר של ה-Startup Nation Central Finder, לא נמצאו חברות העוסקות בתחום משאבי חלל⁵². גם חיפוש במאגר החברות של IVC לא הניב חברות בתחום פרט לחברת Effective Space Solutions R&D Ltd⁵³. החברה הוקמה בשנת 2012 במטרה לספק שירותי גרירה ללווייני תקשורת באמצעות מיקרו לוויין. החברה שייכת לסוג של חברות הזנק הנקראות ה"חברות בתחום החלל החדש" (new space) וחברות ייעוץ בתחום החלל. החברה לא עוסקת ישירות בתחום משאבי חלל אלא בתחומים משקים שפיתוחם יכול לקדם את תחום משאבי חלל.

בינואר 2018 פורסם כי חברת Effective Space Solutions מפתחת לוויין שימש כ"רכב גרר" שישוגר לחלל ויזיז לוויין שכבר נמצא במסלול מסביב לכדור הארץ ועומד להישאר ללא דלק וללא יכולת לשמור על מיקומו. החברה חתמה חוזה ראשון עם מפעילת לווייני תקשורת זרה, שתרכוש ממנה שני לווייני חילוץ, כדי להאריך את חייהם של שני לוויינים המשמשים אותה כיום. הלוויין שיפותח יוכל לשמש גם לסילוק "פסולת חלל", כדוגמת שברי לוויינים וחלקי משגרים, לתמוך בתפעול רשתות תקשורת המבוססת על אלפי לוויינים זעירים נמוכי מסלול, ובעתיד יספק שירותים למשימות כריית מחצבים מאסטרואידים ואף ייצור בחלל. מרכז הפיתוח של החברה בתל אביב מעסיק כיום כ-15 מהנדסים במשרה מלאה ועוד כעשרה במשרה חלקית. מטה החברה הוא בבריטניה (אודי עציון, 2018).

חברה נוספת שניתן לשייך אותה לחברות מסוג new space ובעקיפין לתחום משאבי חלל היא חברת Spacell⁵⁴. חברת Spacell הוקמה ב-2011 כעמותה ללא כוונת רווח ששמה לה למטרה להנחית את הגישושים הישראלית הראשונה על הירח. הפיתוח נעשה במסגרת התחרות הבינלאומית Google Lunar XPRIZE: מרוץ להנחתת גישושים בלתי מאוישת על הירח. קבוצת Spacell הייתה הנציגה הישראלית היחידה בתחרות. ב-22 בפברואר שיגרה העמותה את הגישושים "בראשית" לירח באמצעות חברת SpaceX. הנחיתה על הירח לא צלחה, והגישושים התרסקה על הירח, לאחר שהמנוע המרכזי לא השלים את הבלימה לפני הנחיתה. עם זאת, ישראל הפכה למדינה השישית שכלי מעשה ידיה הגיע אל פני השטח

⁵⁰ <https://lunarvolatiles.nasa.gov/current-activities/>

⁵¹ <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/copuos/index.html>

⁵² נבדקו מילות החיפוש הבאות: "space mining" OR "Asteroid Mining" OR "Lunar Mining" OR "Off-Earth mining" OR "Extraterrestrial Mining" OR "Extraterrestrial resources" OR "planetary resources"

⁵³ <https://www.effective.space/>

⁵⁴ <http://www.spaceil.com/he/mission/>

של הירח, אחרי רוסיה, ארצות הברית, יפן, סין והודו (סוכנות החלל הישראלית, n.d.). הטכנולוגיות המפותחות עבור הגישויות הן חלק מהטכנולוגיות התורמות לחקר של כריית משאבי חלל.

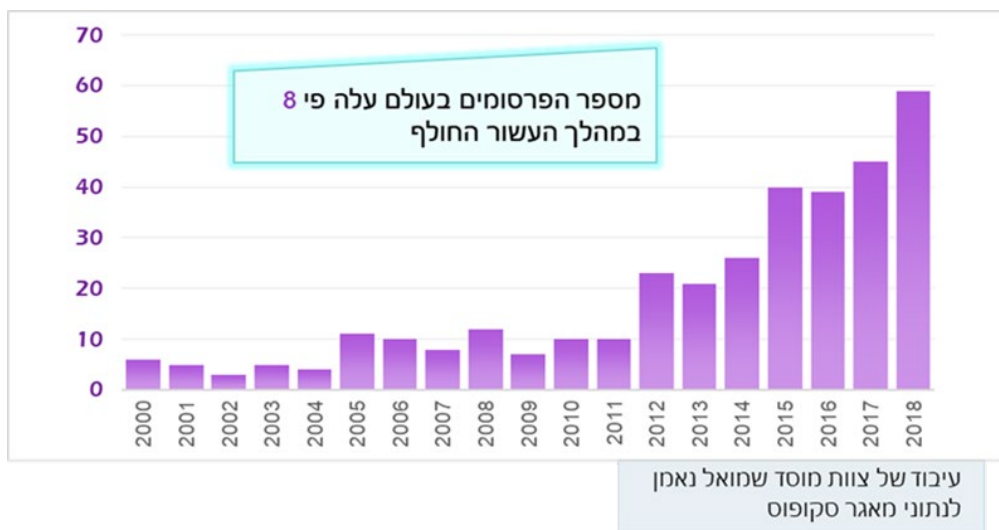
כפי שתואר בסקר ספרות, תחום משאבי חלל דורש השקעות גדולות מאוד. בעולם הפעילות בתחום מתבצעות על ידי חברות ענק כמו גוגל ו-SpaceX או ברמה של ממשלות. בישראל, תחום תעשיית החלל מבוסס על חברות גדולות כמו תעשייה אווירית (מבת, אלתא, תממ), רפאל, אלביט ואלאופ אך הן אינן עוסקות ישירות בתחום כריית משאבים. יתכן וקיימות בישראל חברות המפתחות טכנולוגיות חדשנות שיכולות לשמש לתחום.

5.7 מדדים ביבליומטריים

מספר הפרסומים בעולם בתחום משאבי חלל עלה פי שמונה במהלך העשור החולף⁵⁵. 36% מהמאמרים הן של חוקרים מארה"ב והיא מובילה בשיעור ניכר על פני המדינות האחרות כמו קנדה (9%), גרמניה (9%) ובריטניה (8%). יש לשים לב כי חלק ניכר מהמאמרים שנכללו מתייחסים לענייני רגולציה ופוליטיקה של הנושא, ולא דווקא להיבטים הטכנולוגיים. יש להניח שיש מאמרים נוספים העוסקים בטכנולוגיות לתחום של כרייה בחלל שלא בהכרח משתמשים במילות המפתח ששימשו השאלתה. כמו כן, קיימת בעיה עם מילת המפתח "space resource" שאמנם מאפיינת את התחום אך נותנת יותר מדי תוצאות שלא קשורות מאחר ופעמים רבות היא מתייחסת לתחומים אחרים שאינם קשורים לדוגמה "open space resources" ולכן הורדה מהשאלתה.

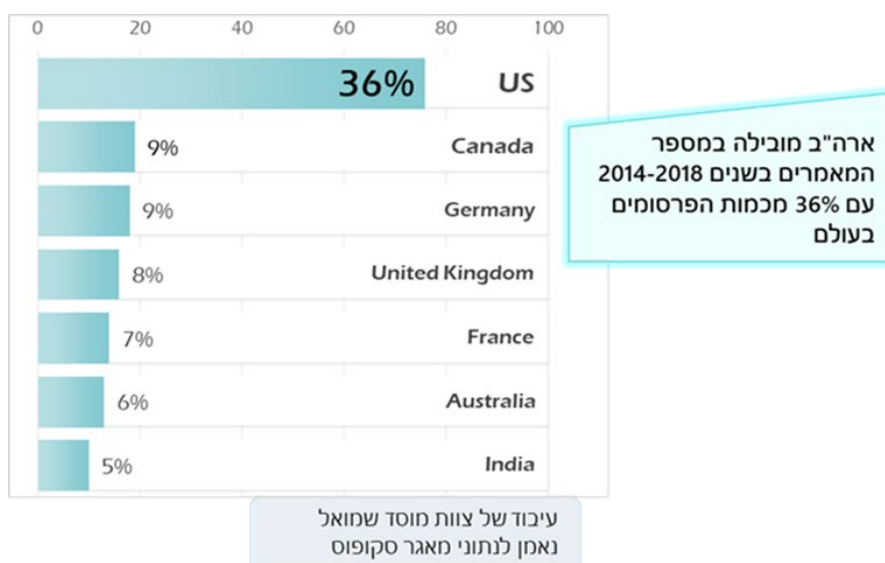
מבדיקה עבור ישראל עולה כי יש סה"כ 5 מאמרים לשנים 2000-2018 וגם כאן חלקם עוסקים ברגולציה ומדיניות מה שיכול לסמן כי התחום אינו מפותח טכנולוגית באקדמיה בישראל.

איור 24: מספר הפרסומים בעולם בשנים 2000-2018



⁵⁵ מילות המפתח ששימשו בשאלתה לבחינת מספר המאמרים בעולם ובישראל. "space mining" OR "Asteroid Mining" OR "Lunar Mining" OR "Off-Earth mining" OR "Extraterrestrial Mining" OR "Extraterrestrial resources" OR "planetary resources"

איור 25: המדינות המובילות במספר הפרסומים בשנים 2014-2018



5.8 בקשות לפטנטים

מבחינה של מספר הבקשות לפטנטים ב-USPTO של מגישים ישראלים בתחום משאבי חלל על פי חיפוש לפי בקשות שסווגו כשייכות לתחום **B64G**⁵⁶ עולה כי בשנים 2007-2016 סך הבקשות בתחום זה היה נמוך מאוד ועמד על 11 בקשות בסך הכל. מתוך הבקשות לפטנטים שהוגשו בשנים 2007-2016 בתחום, 3 בקשות הוגשו על-ידי תעשייה אווירית ושתי בקשות הוגשו על ידי חברת EFFECTIVE SPACE SOLUTIONS בקשה אחת הוגשה על ידי הטכניון. נתונים אלה מסמנים פעילות נמוכה מאוד בתעשייה בתחום זה.

5.9 מענקי מחקר בתחומי משאבי חלל

על מנת לקבל מדד בכמה המחקר בתחום משאבי חלל ממומן על ידי קרנות ומענקים. נסקרו הגופים העיקריים מהם מקבלים חוקרי ישראל מענקי מחקר (רשימת הקרנות שנבדקו מצורפת בנספח א'). נסקרו כל מענקי המחקר המתוארים באתרים, לאורך השנים עבורן יש נתונים. הסריקה נעשתה על ידי מילות החיפוש: "space resources" OR "space mining" OR "Asteroid Mining" OR "Lunar Mining" OR "planetary resources".

באף אחת מהקרנות שנבדקו לא נמצאו מענקים שנתנו בתחום של משאבי חלל.

יש לציין שאתר סוכנות החלל הישראלית מתאר את הנושא ואף מציג ערכות למידה בנושא לבתי הספר, אולם לא מציין מענקי מחקר בתחום זה. כמו כן, בפרויקט "רוזטה" של סוכנות החלל האירופית (http://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Rosetta) השתתפו חוקרים מישראל בראשות פרופ' עקיבא בר-נון מאוניברסיטת תל אביב.

נראה כי בשדה מחקר זה פועלות בעיקר סוכנויות גדולות (כדוגמת סוכנות החלל האירופית) וכן חברות ענק (כדוגמת גוגל), ולא מדינות יחידות שהיקף ועלות המחקר בתחום לא במסגרת העדיפויות שלהן.

⁵⁶ B64G -COSMONAUTICS; VEHICLES OR EQUIPMENT THEREFOR (apparatus for, or methods of, winning materials from extraterrestrial sources)

5.10 היתרונות של ישראל בתחום משאבי חלל⁵⁷

כפי שתואר בעבודה זו, בישראל כמעט ולא קיים מחקר לא באקדמיה ולא בתעשייה. תחום משאבי החלל דורש השקעות גדולות גם בפיתוח וגם קיימות מגבלות פוליטיות ומדיניות שדורשות טיפול. למרות זאת, לישראל יש תעשיית הייטק מרשימה ולכן יש לנו פוטנציאל לתעשיית חלל מרשימה מבחינת פיתוח ותכנון הכלים. ישראל חלשה הרבה יותר ברובוטיקה מתקדמת, אבל בהחלט ייתכן שישראל תוכל להשתלב בתחומי הבינה המלאכותית שדרושים כדי לתפעל את הרובוטים השונים המיועדים לשיגור לחלל.

ישראל מובילה בתעשיית ההייטק שלה ויש לתעשייה הייטק הישראלית את היכולת לגייס השקעות בהיקפים משמעותיים גם למיזמי חלל. ישראל כבר הוכיחה כי היא מסוגלת לבצע פרויקטים בעלות נמוכה מהרגיל. לדוגמא, החללית לירח ב-95 מיליון דולרים - סכום אפסי לעומת השקעות דומות בעולם.

לישראל אין את היכולת להשקיע משאבים במיזמים גדולים בתחום כמו לסין, ארה"ב או האיחוד האירופי אך ישראל יכולה להשתלב בתעשייה זו בהשקעה בטכנולוגיות תמיכה (Support technologies) לתחום משאבי החלל. אלו טכנולוגיות הנדרשות לאורך כל שרשרת הערך והכרחית לתמיכה בניצול משאבי החלל באופן תפעולי, כולל טכנולוגיות תוכנה, רובוטיקה, תקשורת ואנרגיה כאשר לישראל כבר יש יתרון בתחומים אלה וההשקעות הנדרשות בהם אינן גדולות יחסית.

⁵⁷ חלק זה מבוסס על סקר הספרות בעבודה זו, עבודות קודמות של מוסד נאמן וראיונות שבוצעו עם רועי צנה ואבי בלסברגר

5.11 נספחים

5.11.1 נספח א': רשימת גופי המחקר שנסקרו בתחום משאבי חלל

Foundation	For Years	No. of relevant Grants
ERC (European Research Council)	2007 - 2019	0
BARD (US-ISRAEL BINATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH AND DEVELOPMENT FUND)	2016 - 2019	0
GIF (The German Israeli Foundation for Scientific Research and Development)	2011 - 2018	0
BIRD (Binational Industrial Research and Development) Foundation	1988 - 2019	0
ISF (Israel Science Foundation)	1991 - 2019	0
BSF (U.S.-Israel Binational Science Foundation)	1997 - 2019	0
Total		0

5.11.2 נספח ב': רשימת מיליארדרים שהשקיעו בתחום החלל

Billionaire	Company	Space investment	Activity
Larry Page	Google	Planetary Resources	Mining resources
Li Ka-Shing	CK Hutchinson	Windward	Mining resources
Eric Schmidt	Google	Planetary Resources	Mining resources
Sergey Brin	Google	SpaceX	Launch / data
Elon Musk	Tesla	SpaceX	Launch / data
Jeff Bezos	Amazon	Blue Origin	Launch
Ma Huateng	Tencent	Moon Express	Launch
Sheldon Adelson	Las Vegas Sands	SpaceIL	Launch
Paul Allen	Microsoft	Stratolaunch	Launch
Richard Branson	Virgin Group	Virgin Galactic	Launch
Lynn Schusterman	Samson Investment	SpaceIL	Launch
Bill Gates	Microsoft	Kymeta	Data
Mark Zuckerberg	Facebook	SETI	Data
Ricardo Salinas	Grupo Elektra	OneWeb	Data
Yuri Milner	DST Global	Planet	Data
Marc Benioff	SalesForce	Taranis	Data

מקור: (OECD Publishing, 2019)

5.11.3 נספח ג': רשימת מרואיינים

שם	תפקיד
ד"ר רועי צזנה,	חוקר עתידנות ישראלי
אבי בלסברגר	מנהל סוכנות החלל הישראלית

- Anderson, S. W., Christensen, K., & Lamanna, J. (2019). The development of natural resources in outer space. *Journal of Energy and Natural Resources Law*, 37(2), 227–258. <https://doi.org/10.1080/02646811.2018.1507343>
- CBINSIGHTS. (2017). Here's Why Mining Platinum From Asteroids Could Be A Billion-Dollar Opportunity.
- Cornish, C. (2017). Interplanetary players: a who's who of space mining.
- European Space Agency (ESA). (2018). Space Resources Strategy.
- Luxembourg Space Agency. (2018). Opportunities for space resources utilization - Future Markets and Value Chains. (December).
- OECD Publishing. (2019). The Space Economy in Figures. In *The Space Economy in Figures*. <https://doi.org/10.1787/c5996201-en>
- Paikowsky, D., & Tzezana, R. (2018). The politics of space mining – An account of a simulation game. *Acta Astronautica*, 142(October 2017), 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2017.10.016>
- Space Ventures Investors. (2019). Space Investing Trends, Big Data and Analysis.
- The Audiopedia. (2017). What is ASTEROID MINING? YouTube.
- Wachowicz, M. E., Frań, P., Węglowski, A., Burdzy, Z., Bachtin, R., Bankiewicz, J., & Gołabek, W. (2019). Space mining challenges: Expertise of the Polish entities and international perspective on future exploration missions. In *GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94517-0_10
- Williams, M. (2019). Asteroid Mining: From Fiction to Reality and the Future of Wealth.

אודי עציון. (2018). החברה הישראלית שתציל לוויינים בחלל.

גולדמן, ד. (2014). כורה בכוכבים.

דה-מרקר. (2016). לוקסמבורג מהמרת על החלל: תממן כריית משאבים על אסטרואידים - בעולם - TheMarker.

ליה אור. (2018). קודם ניקח את הירח, אחר כך נרוויח 16 קוודריליון דולר.

סוכנות החלל הישראלית. (n.d.). החללית הישראלית שנגעה בירח: המסע המופלא של "בראשית".

6 שילוב רב תחומי ביולוגיה, תוכנה והנדסה לעולם הרפואה (Bio - Convergence)

תודתנו לדר' איתי קלע, אבנר אמיר ודב מאור על הערותיהם ועל עזרתם במיקוד הסקירה.

תודתנו לדר' איתי קלע ודר' ז'נט לזרוביץ' על הראיונות שקיימנו איתם בנושא.

6.1 רקע

בשנים האחרונות, חלו שינויים בסקטור הבריאות המצביעים על כך שסקטור זה נע יותר ויותר לכיוון של "התכנסות" (Convergence) ליצירת אקו-סיסטם מאוחד הכולל תתי תחומים כגון מכשור רפואי, ביופארמה⁵⁸, בריאות דיגיטלית (ובכלל זאת בינה מלאכותית ונתוני עתק - Big Data) ואת נותני השרות בתחום הבריאות (IATI PWC & IIA, 2019). "התכנסות" זאת, של התחומים השונים מאפשרת את שילובו של ידע מדעי והנדסי עם ידע מתחום מדעי החיים והרפואה, ויצרת הזדמנויות לחדשנות טכנולוגית שהיא בעלת פוטנציאל רב לשפר את בריאות הציבור ולייצר אפשרויות כלכליות משמעותיות. הדוגמאות לשילובים אלו רבות וכוללות, לדוגמה, את תחום הביו-אלקטרוניקה – טיפול במחלות כרוניות תוך שימוש בשתלים מזעריים (IATI PWC & IIA, 2019) וכן שימושים ביכולות טכנולוגיות ממוחשבות על מנת לבצע עיבוד תמונה מתקדם לצרכים אבחוניים. עיקר החדשנות מתמקדת כיום בשילוב המכשור הרפואי ויכולות ה Health IT עם עולמות הרפואה, אך קיימת חשיבות רבה להרחבת השימוש ביכולות ההנדסיות והטכנולוגיות גם לתחום הביופארמה.

בישראל, יותר מ 25% מתקציבה של הרשות לחדשנות הוקדש בעשור האחרון לסקטור הבריאות (בשנת 2018 לבדה הוקדשו לתחום \$125M). יוזמות נוספות כגון הקמת החממה הטכנולוגית FutuRx⁵⁹ נועדו אף הן לקדם את התחום (IATI PWC & IIA, 2019; "What Do We Offer? | FutuRx," 2019). צפוי, כי החדשנות הטכנולוגית הנובעת משילוב היכולות ההנדסיות ותחומי מדעי החיים תשפיע על יצירתם של פתרונות רפואיים הנוגעים לכל ההיבטים של שירותי הבריאות, החל מרפואה מונעת, דרך דיאגנוסטיקה מתקדמת וכלה במתן טיפול יעיל וממוקד יותר לחולה (IATI PWC & IIA, 2019).

בשנת 2011 פרסמה אוניברסיטת MIT דו"ח שכותרתו The Convergence of the Life Sciences, Physical Sciences, and Engineering (Sharp et al., 2011). המושג Convergence בהקשר זה הוגדר כ"מיזוג" או "התכנסות" של טכנולוגיות שונות למכלול אחיד, דבר היוצר שורה של מסלולי מחקר והזדמנויות חדשות. שילוב זה כרוך באינטגרציה של תחומים שונים ובמיוחד הנדסה, פיזיקה ומדעי החיים - תוך שיתוף פעולה בין קבוצות מחקר ושילוב של גישות מדיסציפלינות שונות. זוכה פרס נובל פיליפ שארפ, אחד ממחברי הדו"ח ופרופסור באוניברסיטת MIT, טען כי תהליך ה-Bio-Convergence מייצג חשיבה מחדשת בנוגע למחקר בתחום מדעי החיים, כך שיביא לידי ביטוי מגוון של תחומי ידע ויכולות טכנולוגיות, החל ממיקרוביולוגיה, דרך מדעי המחשב ועד לתכנון הנדסי. הדו"ח שהוצג בשיתוף עם האגודה האמריקאית לקידום המדע - AAAS⁶⁰ טען שעל ארצות הברית לנצל את המגמה הכרוכה במיזוג מדעי החיים, הפיזיקה וההנדסה כדי לטפח את החדשנות הדרושה בכדי לענות על הביקוש הגובר בצרכי הבריאות של האוכלוסייה.

מחברי הדו"ח טוענים עוד, כי לתהליך ה-Bio-Convergence פוטנציאל ליצור "מהפכה" שעשויה להיות משמעותית לפחות כמו מהפכות קודמות בתחום מדעי החיים: חקר הביולוגיה המולקולרית וחקר הגנום האנושי. לטענתם, כשם שההתקדמות בתחום טכנולוגיות המידע, החומרים, ההדמיה, הננו-טכנולוגיה ותחומים קשורים - יחד עם ההתקדמות בתחום המחשוב, שינו את מדעי הפיזיקה, כך הם מתחילים כיום לשנות גם את מדעי החיים. התוצאה היא תחומי מחקר משמעותיים חדשים במדעי החיים, כגון ביו-הנדסה,

⁵⁸ Biopharmaceutical: a pharmaceutical derived from biological sources and especially one produced by biotechnology (Merriam Webster Dictionary)

⁵⁹ סמייעות במימון ובעזרה מקצועית לחברות פארמה Takeda ו Johnson & Johnson במסגרת החממה חברות גדולות כגון קטנות הנמצאות בתהליכי המו"פ הראשוניים שלהם

⁶⁰ American Association for the Advancement of Science (AAAS)

ביולוגיה חישובית, ביולוגיה סינתטית והנדסת רקמות. הדו"ח ממליץ על מתן תמיכה כספית מספקת ועל מיקוד מאורגן היטב בתוך ה- National Institute of Health (NIH) למחקרים שעניינם Bio-Convergence (Sharp et al., 2011).

במחקר של National Research Council (NRC) בארה"ב (NRC, 2014) זוהו אלמנטים חיוניים להצלחת תוכניות של Bio-Convergence. אלמנטים אלה הם כדלקמן:

אנשים: מנהיגות המחויבת לתמוך בשילוב בינתחומי תוך מעורבותם של סטודנטים, אנשי סגל וצוות, ראשי ומנהלי מחלקות ודיקנים. טיפוח יכולת העוסקים בתחום לתקשר על פני תחומים רחבים תוך בניית ידע ומומחיות עמוקים.

ארגון: חזון מוכוון יעד, ניהול אפקטיבי של תוכניות, תמיכה יציבה במתקני ליבה (תשתיות מחקר) ומקורות מימון.

תרבות: התרבות הדרושה לתמיכה בשילוב תחומי מדע שונים, כמו בסוגים אחרים של מחקר שיתופי, היא כזו המעודדת הזדמנויות לחלוק ידע ומטפחת את יכולתם של המדענים להיות בקיאים בנושאים בינתחומיים.

מערכת יחסי הגומלין (Ecosystem): מערכת יחסי הגומלין כוללת אינטראקציות דינאמיות עם שותפים מרובים ודורשת אסטרטגיות להתמודדות עם הסכמי השותפות הטכניים והלוגיסטיים הנדרשים.

צפוי, כי המאה ה-21 תהיה כזו שבה תהיה התקדמות בהבנת הבסיס הגנטי והמולקולרי של מערכות ביולוגיות וכיצד הן מתמזגות עם תחומים כגון פיזיקה, רפואה והנדסה להשגת מהפכות חדשות בחזית הידע. הבנה טובה יותר של התהליך והתגברות על האתגרים על מנת לאפשר מהלך זה, היא אסטרטגיה חשובה למימוש מלא של מטרה זו. לצורך כך, יש לקיים מאמץ שיטתי על מנת לרתום בצורה יעילה יותר את פוטנציאל ה- Bio-Convergence כדי לעודד חדשנות ולתת מענה לצרכים חברתיים וכלכליים מתפתחים (NRC, 2014).

בשנת 2019 קיימה האקדמיה הלאומית למדעים, הנדסה ורפואה של ארה"ב (National Academies of Sciences, Engineering and Medicine) דיון בשאלה כיצד ניתן לקדם את תהליך חיבורם והתכנסותם (Convergence) של תחומים מדעיים שונים. מהדיון עלה, בין היתר, כי לנושא המנהיגות וההובלה ישנה חשיבות רבה בתהליך זה. ראשי ארגונים אקדמיים (אוניברסיטאות, מכללות, מכוני מחקר) ממלאים תפקיד מרכזי ביצירת תרבות של מחקר שמאפשרת Convergence במוסדותיהם, ובשל כך באחריותם להבהיר שנושא זה עומד בראש סדר העדיפויות שלהם כמו גם של המוסד אותו הם מנהלים. עליהם גם לעזור לתהליך באמצעות הסרת חסמים מוסדיים. יצירת תרבות של Convergence ותחזוקה לאורך זמן תלוי בחזון שמגיע מהנהלת הארגון, תהליך הידוע כ- Top-Down Vision ודורש התמדה. זאת, עקב העובדה שהוא מצריך שינוי חשיבה ארגונית ועלול לארוך זמן רב (National Academies of Sciences Engineering and Medicine, 2019).

סטטוס קיים והפוטנציאל העתידי בתחום ההנדסה הביולוגית

מחקר שערך ה- Engineering Biology Research Consortium (EBRC) בארה"ב במימון ה- National Science Foundation מיפה את הסטטוס הקיים והפוטנציאל העתידי בתחום ההנדסה הביולוגית (Biological Engineering). במיפוי זהו ארבעה תחומים עיקריים להם פוטנציאל לתרום לחברה ולכלכלה בארה"ב בשנים הבאות (EBRC, 2019)⁶¹.

⁶¹ מומלץ לעיין [באתר הפרסום](#) הכולל מטרות מפורטות לטווח הקצר והארוך עבור כל אחד מתחומי העניין השונים.

1. **Gene Editing, Synthesis, and Assembly** – בתחום זה נכללים פיתוח כלים בתחום ההנדסה הגנטית ובמיוחד סינתזה מורכבת של ⁶²Oligonucleotides ארוכים יותר, ושל חלקים גדולים של הגנום, כמו גם אפשרויות לביצוע הנדסה ועריכה גנטית בדיוק מירבי.

2. **Biomolecule, Pathway, and Circuit Engineering** – תחום זה כולל הנדסה של מולקולות ביולוגיות ומסלולים מולקולריים באופן שיחקה ואף יתחרו במולקולות הטבעיות הקיימות.

האתגר בתחום זה יהיה להנדס ביו-מולקולות או מסלולים מולקולריים, על מנת שיבצעו תפקידים מוגדרים מראש. חלק מהאתגרים העתידיים בתחום יהיו להשתמש במבנים ביולוגיים קיימים ולשפר או לשנות את פעולתם בהתאם לצורך. אתגרים נוספים יהיו סינתזה של מולקולות ביולוגיות בעלות תפקידים מוגדרים שלא על בסיס חומרים ביולוגיים קיימים.

3. **Host and Consortia Engineering** – תחום זה עוסק בשימוש באורגניזמים "מארחים" (Hosts) כדוגמת חיידקים, צמחים או תאים מן החי לייצור חומרים ביולוגיים שונים לצרכים רפואיים או תעשייתיים. כמו כן התחום עוסק גם בהנדסת מערכות "חופשיות מתאים" (Cell free systems) לביצוע פעילויות דומות. מבין האתגרים בתחום זה בשנים הקרובות יהיו יצירתם של מערכות מורכבות יותר (כדוגמת הנדסת Multi-Cellular Organisms) שימשו כמארחים והרחבת מגוון החומרים הביולוגיים שתאים או אורגניזמים מארחים יוכלו לייצר.

4. **Data Science** – במסגרת תחום זה, יעשה שימוש בכלים חישוביים מתקדמים על מנת לסייע לתכנון והוצאתם לפועל של תהליכים בהנדסה ביולוגית. כך לדוגמה, יסתייעו במודלים חישוביים על מנת להעריך תפוקות ייצור במודלים של תאים או אורגניזמים "מארחים", לבחון השפעות של שינוי תנאי הסביבה על קצב הפעילות הביולוגית ולעודד אוטומציה בתהליך. בכדי לעשות שימוש במודלים אלו, יהיה צורך ליצור שיטות חישוביות ואלגוריתמיקה מתקדמת שתוכל באופן אחיד להתאים למערכות ביולוגיות שונות, לצפות את התנהגותן של מערכות ביולוגיות ולנתח כשלים אפשריים. הכלים החישוביים יאפשרו גם הנדסה של הרכיבים הביולוגיים (כגון מולקולות או אף מערכות רב-תאיות) באופן יעיל יותר. תהליך שילוב מתקדם של Data Science בהנדסה הביולוגית דורש יצירה, הנגשה ושילוב של מאגרי מידע אודות מערכות ומודלים ביולוגיים.

דו"ח מפת הדרכים של ה-EBRC היא הערכה ביקורתית של המצב והפוטנציאל הנוכחי של הביולוגיה ההנדסית. הוא נועד לספק לחוקרים ובעלי עניין אחרים (כולל מממנים ממשלתיים) מערכת משכנעת של אתגרים והזדמנויות טכנולוגיות בטווח הקרוב והארוך. תהליך המיפוי של מפת הדרכים (תהליך התקדמות שמתבצע כל הזמן) החל בתגובה להמלצות שהוצגו בדו"ח של האקדמיות הלאומיות לשנת 2015, תיעוש הביולוגיה, ולבקשת הקרן הלאומית למדעים ובעלי עניין אחרים בממשלת ארה"ב, כולל המועצה הלאומית למדע וטכנולוגיה. עם שחרורה של מפת הדרכים ביוני 2019, ה-EBRC מספק משאבים שמאפשרים להתקדם לכיוון של מחקר ופיתוח ביולוגיה סינתטית.

בשיחה שנוהלה עם ד"ר ז'נט לזרוביץ' (יועצת לרשות החדשנות) ז'נט סיפרה ש'ברשות החדשנות' נעשתה עבודה די אינטנסיבית אבל ברשות עדיין לא מגובשים לגמרי לגבי מה יכול להיכלל בהגדרה הזו. לדברי ז'נט צריך לזקק את הניסוח וההגדרה ולמצוא את אותן החברות שאכן מתאימות להגדרה של Bio-Convergence ועל בסיסן לכתוב אסטרטגיה המתאימה למדינת ישראל.

ז'נט עדכנה שגברת אניה אלדן היא כיום ראש זירת הזנק ומובילה את הנושא של Bio-Convergence. ברשות הוחלט בשלב הנוכחי לקחת את הנושא לעולם הרפואה כפיילוט ולאחר מכן להשליך לנושאים אחרים כמו חקלאות, סביבה, וכדומה. הכותרת היא שילוב ביולוגיה עם הנדסה בתחומים שונים ועם חישוביות כלומר כלים כמו אלגוריתמים מתקדמים, בינה מלאכותית, טיפול בכמויות גדולות של מידע וכדומה.

בעולם הרפואה ההתמקדות היא על שלושה תחומים והם:

⁶² A short nucleic-acid chain usually consisting of up to approximately 20 nucleotides (Merriam Webster Dictionary)

- פיתוח תרופות חדשניות
- פיתוח ציוד רפואי – Medical Devices and Equipment
- פיתוח כלי דיאגנוסטיקה

על פי ז'נט מתוך כלל החממות הטכנולוגיות יש ארבע חממות (מסומנות בכוכבית בטבלה) שמתייחסות לנושא של Bio-Convergence.

6.2 יתרונותיה של ישראל בתחום

יתרונותיה של ישראל בתחום ה-Bio-Convergence כוללים מערכת בריאות מתקדמת העושה שימוש ברשומות רפואיות דיגיטליות, אוכלוסייה בעלת מאפיינים גנטיים ייחודיים, חוזקות טכנולוגיות בתחום המחשבים ובכלל זה בנתוני נתק ובבינה מלאכותית וכן תעשיית טכנולוגיה רפואית מבוססת המשלבת חברות מקומיות ובינלאומיות. המערכת האקדמית המובילה בישראל, כמו במדינות מפותחות אחרות⁶³, הינה מקור חשוב לחדשנות עבור התעשייה. שילוב חוזקות הנדסיות אלו עם תחום הביולוגיה והרפואה, הינו בעל פוטנציאל להניב יתרונות משמעותיים לישראל (PWC & IIA, 2019); התכנית הלאומית לבריאות דיגיטלית כמנוע צמיחה, "2018). יתרונות אפשריים נוספים נובעים מהאופי היזמי הישראלי ("אומת הסטרטאפ") וכן מהעובדה שהאקו-סיסטם המקומי קטן יחסית ועל כן ניתן בצורה קלה יותר לקשר בין מרכיביו.

בשנים האחרונות אנו עדים לשינויים בתחום הביו-רפואה בעולם. התוצאה היא שחברות התרופות הרב-לאומיות שואפות לחבור לחברות מחקר, אוניברסיטאות, מעבדות, קליניקות, בתי חולים ואפילו לאלה שמפצים תרופות כדי לזהות מגמות וטכנולוגיות חדשות ולפתח באמת מוצרים שיהיו יעילים לציבור.

בשל המצוינות באקדמיה בישראל תהליך זה נמצא כבר בפעולה גם בישראל ואנו עדים לכך שתאגידי תרופות גדולים מהעולם שותפים למחקר בתחום פיתוח תרופות עם חוקרים מהאקדמיה. התוצאה היא שהם גם משקיעים בחברות העוסקות בתחום הביו-רפואה וביו-טכנולוגיה קטנות. למדינת ישראל פוטנציאל גדול למשיכת השקעות למחקר ופיתוח של מוצרים ביו-רפואיים, והדבר נכון גם לביצוע מחקרים קליניים.

סקטור מדעי החיים (ביו-טכנולוגיה, פיתוח תרופות ודיאגנוסטיקה) בישראל מתקדם יחסית יפה. כמו כן המחקרים באקדמיה הישראלית בתחום הם מהמתקדמים בעולם ויש בארץ לא מעט אנשים שצברו ניסיון ברמות שונות ולכן ניכרת התקדמות יפה. ועדין, למרות שתחום תעשיית התרופות (הפארמה) בארץ אינו גדול במיוחד, יש בו חברות טובות ומצליחות. אבל, בניגוד למקובל בעולם, רוב ההשקעות בארץ מופנות לתחום המכשור הרפואי ולא לתחום פיתוח תרופות. ההטיה הזו נובעת מכך שקיימת קירבה בין תחום המכשור הרפואי לתחום הנדסת ההיי-טק (סקטור ICT), וכן בשל ההנחה שהזמן הנדרש לפיתוח עד לקבלת מוצר מוגמר - time to market - ורמות המימון הנדרשות בתחום המכשור הרפואי נמוכות יותר מאשר ההשקעות הנדרשות בתעשיית הפארמה. עם זאת, נוכח שינויים בתמחור וברגולציה אנו רואים כיום התארכות של לוחות הזמנים גם בתחום מכשור הרפואי.

6.3 הסקטור האקדמי

בשל העובדה שמדובר בתחום-עניין רחב, במגבלות סקירה זאת התמקדנו בתחום **ההנדסה הביו-רפואית**, המשלב את עולמות התוכן של מדעי החיים, הרפואה וההנדסה. במסגרת זאת, נבחנו הפקולטות או המחלקות להנדסה ביו-רפואית באוניברסיטאות המחקר בישראל. ראוי לציין כי גם באוניברסיטאות אחרות, כגון במכון ויצמן, מתבצע מחקר המשיק לתחומים אלו, וכן לדוגמא באוניברסיטת בר אילן בה חוקרים מהפקולטה להנדסה עוסקים בין היתר בתחומי הביו-הנדסה. עם זאת, החוקרים אינם פועלים במסגרת פקולטה ייעודית לכך.

⁶³ כך, לדוגמא, מגזר מדעי החיים הוא הסקטור שמכניס את הרווחים הגדולים ביותר לאוניברסיטאות מובילות בארה"ב כתוצאה מ (Huggett, 2014) Technology Transfer.

הלימודים לתארים מתקדמים (שני ושלישי) בפקולטות להנדסה ביו-רפואית באוניברסיטאות בישראל החלו לפני שנים רבות אך לאור ההתפתחות שחלה בתחום, מוצעים כיום גם לימודים לתואר ראשון בהנדסה ביו-רפואית או בביו-הנדסה. מוערך⁶⁴ כי ישנם כ-50 אנשי סגל אקדמי בכיר בפקולטות להנדסה ביו-רפואית באוניברסיטאות בישראל. מסלולי הלימודים באוניברסיטאות ותחומי המחקר מפורטים להלן.

6.3.1 הטכניון

הפקולטה להנדסה ביו-רפואית בטכניון עוסקת בממשק בין המדעים, ההנדסה והרפואה, ומשלבת ידע וכלים מתחום ההנדסה לפתח שיטות, התקנים, אביזרי עזר, מערכות לאבחון וטיפול רפואי וכלים לחקר הבסיס הביולוגי של מחלות. מסלולי הלימוד בפקולטה כוללים:

הדמיה ואותות רפואיים – מכשור דיאגנוסטי וטיפול, טכניקות לא חודרניות, טכניקות הדמיה, עיבוד אותות ועיבוד תמונות ברפואה, בקרה פיזיולוגית, שימושי אופטיקה ואולטרסאונד.

ביומכניקה וזרימה – ביו-מכניקה של תאים ורקמות, זרימה במערכות ביולוגיות, איברים מלאכותיים, שתלים פנימיים, שיקום אורתופדי/נזירולוגי, הנדסה שיקומית, ציוד ועזרים לבעלי מוגבלויות.

הנדסת רקמות וביו-חומרים – הדפסה תלת-ממדית של איברים ורקמות, שימוש בתאי גזע, פיתוח ננו חלקיקים וביו-חומרים רפואיים, ביו-סנסורים, איבר על שבב ושחרור מבוקר של תרופות.

כמו כן, קיימים בפקולטה מסלולים משותפים להנדסה ביו רפואית עם פקולטות אחרות כגון הפקולטה לרפואה, לפיזיקה ולהנדסת תעשייה וניהול.

בפקולטה להנדסה ביו-רפואית בטכניון עוסקים החוקרים הבכירים בתחומים מגוונים. אלו כוללים, בין היתר, עיבוד אותות אולטרה-סאונד, עיבוד תמונה רפואית (medical imaging), חישה מרחוק של מצבים רפואיים, בניית ביו סנסורים והנדסה של מערכות ביולוגיות, חקר המוח, Deep learning, היבטים ביולוגיים של מערכות הקול והדיבור, הנדסת רקמות, דיאגנוסטיקה מולקולרית ועוד (הפקולטה להנדסה ביו-רפואית בטכניון).

6.3.2 אוניברסיטת בן גוריון

המחלקה להנדסה ביו-רפואית באוניברסיטת בן גוריון עוסקת במגוון תחומים המשלבים מדעי החיים, רפואה והנדסה. מבין תחומי העיסוק העיקריים בה, מונה הפקולטה בין היתר, אופטיקה ביו-רפואית וננו-אופטיקה, ביו-רפואית וננו-רפואה, ביופיסיקה, מודלים מתמטיים במערכות ביו-רפואיות, ננו-ביו אלקטרוניקה (כדוגמת טכנולוגיות מיקרואלקטרוניקה לניטור נייד ורציף של מערכות ביולוגיות ורפואיות) וסינתזת ננו-חלקיקים להובלת תרופות.

המחלקה מציעה לימודים באשכול "עיבוד אותות פיסיולוגיים" ובאשכול ביו-מכניקה וכן מסלול לימודים משותף למצטיינים המעניק אפשרות לעשות תואר כפול ברפואה ובהנדסה ביו-רפואית.

במסגרת הלימודים במחלקה, יכולים הסטודנטים ליטול חלק בפרויקט "ביומד-טק ויזמות" בו נחשפים הסטודנטים לעולמות היזמות והתעשייה בתחום הביומד ("המחלקה להנדסה ביו-רפואית | אוניברסיטת בן גוריון").

6.3.3 אוניברסיטת תל אביב

המחלקה להנדסה ביו-רפואית באוניברסיטת תל אביב עוסקת בתחומים רבים המשלבים רפואה והנדסה, ובכלל זאת בביו-מכניקה, ביו-חומרים, ביולוגיה חישובית ומערכתית, עיבוד תמונות רפואיות, ביו זרימה, הנדסת רקמות ועוד.

באוניברסיטת תל אביב, בדומה לטכניון ולאוניברסיטת בן גוריון, קיימת אפשרות ללמוד אותות ומערכות ברפואה, וכן ביו-מכניקה הנדסת רקמות וביו-חומרים. בנוסף, קיים מסלול ייחודי של תואר כפול הנדסה ביו-

⁶⁴ על בסיס ניתוח של אתרי האינטרנט של הפקולטות/מחלקות.

רפואית וביולוגיה בדגש על חקר המוח. במסלול זה נלמדות שיטות אנליטיות וחישוביות כמו גם ביוטכנולוגיות לחקר המוח (המחלקה להנדסה ביו רפואית | אוניברסיטת ת"א).

6.3.4 אוניברסיטת בר אילן

באוניברסיטת בר אילן ניתן ללמוד הנדסה ביו-רפואית כחלק ממסלולי הפקולטה להנדסה. תחומי המחקר הנלמדים עוסקים במכשור ביו-רפואי, ננוטכנולוגיה וחומרים לשימוש ביו רפואה, הנדסת נוירונים ורקמות, דימות (הדמיה) ביולוגית ומיקרוסקופיה, גנומיקה וביולוגיה מערכתית. מספר חוקרים בכירים בפקולטה להנדסה עוסקים בתחומים המשלבים את מדעי החיים וההנדסה.

6.3.5 האוניברסיטה העברית

באוניברסיטה העברית קיים מסלול לימודים ישיר לתואר שלישי בביו-הנדסה. מטרת התוכנית היא להכשיר תלמידים ליישום ידע הנדסי ומדעי לפתרון בעיות בתחומי הביולוגיה והרפואה והיא מיועדת לבוגרים מצטיינים בתחומי מדעי הטבע, מחשבים, רפואה והנדסה. התוכנית מקנה כלים תיאורטיים וכלים ניסויים בתחומים בסיסיים בביו-הנדסה כדוגמת: אנליזה הנדסית של מערכות ביולוגיות ורפואיות, פיתוח ופתרון מודלים מתמטיים בביולוגיה ורפואה, פיתוח מכשור רפואי, פיתוח חיישנים ביולוגיים, דימות רפואי, הנדסת רקמות, ביוחומרים, ביומכניקה, ביואלקטרוניקה ועוד (ביו הנדסה - לימודים לתואר מוסמך). באוניברסיטה העברית פועל מרכז מולטי-דיסציפלינרי לביו-הנדסה במסגרתו מתקיימים המחקרים (Alexander Grass Center for Bioengineering).

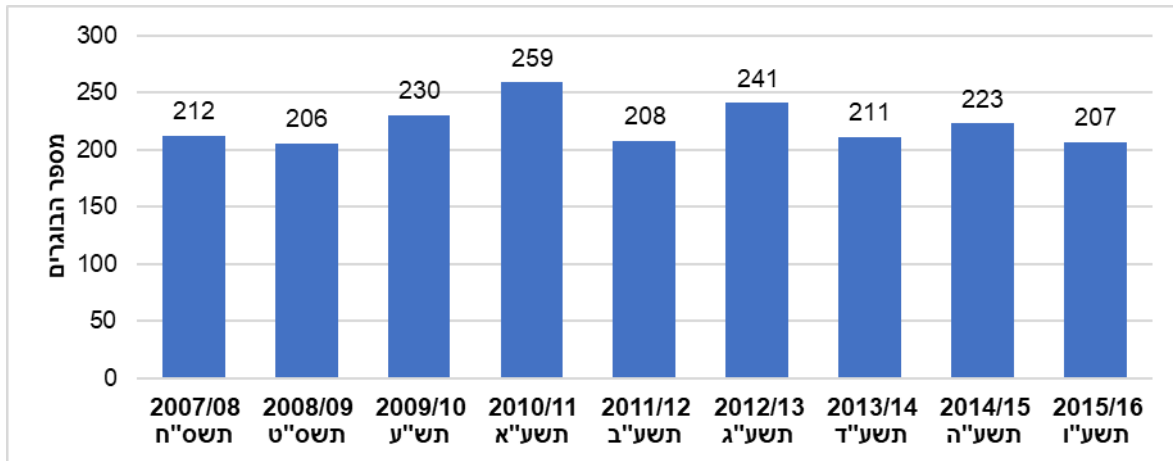
6.3.6 מכון ויצמן

במכון ויצמן, כאמור, קיימים מרכזים המבצעים מחקר בתחומים המשלבים רפואה, ביולוגיה, תוכנה והנדסה. כך לדוגמה, המכון הלאומי על שם עזריאלי לדימות ומחקר המוח האנושי עוסק בחקר המוח ומשלב כלי מחקר כגון MRI לביצוע מחקרים מתקדמים בתחום הנורולוגיה. המרכז לפיסיקה ביולוגית ע"ש קלור עושה שימוש בשיטות הנדסיות ופיזיקליות למחקר מדעי על מבנים פיזיולוגיים וביוכימיים ומכון הנרי חנוך קרנטר לדימות ביורפואי וגנומיקה המשלב טכניקות מתקדמות בגנומיקה ובדימות ביו-רפואי לאפיון תהליכים סרטניים. המכון לביואינפורמטיקה על-שם אילנה ופסקל מנטו עושה שימוש בכלים חישוביים חדשניים בכדי לסייע למדענים לנתח ביעילות מידע רב שנוצר ממחקרים מודרניים בהיקף גדול (מרכזים ומכונים | מכון ויצמן למדע).

6.3.7 מקבלי תארים בהנדסה ביו-רפואית בישראל

איר 26 מציג את מספר מקבלי התארים (ראשון, שני ושלישי) **בהנדסה ביו-רפואית** בישראל על פי נתוני הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (הלמ"ס), לשנה"ל תשס"ח (2007-2008) עד תשע"ו (2015-16). ניתן לראות כי כמאתיים בוגרים מסיימים את המסלול בכל שנה.

איור 26: מספר מקבלי התארים (ראשון, שני ושלישי) בהנדסה ביו-רפואית בישראל (שנה"ל תשס"ח-תשע"ו)



מקור: עיבוד מוסד נאמן לנתוני הלמ"ס

6.3.8 האגודה הישראלית להנדסה ביו-רפואית

האגודה הישראלית להנדסה ביו-רפואית פועלת לקידום שיתוף הפעולה בין מהנדסים, רופאים ומדענים, מעודדת השתלמויות מקצועיות בתחום ומסחור של טכנולוגיה. האגודה מקיימת כנסים (ראו פירוט להלן), מעודדת שיתופי פעולה בינלאומיים וכן שיתוף פעולה אקדמיה-תעשייה בתחום. מלבד העיסוק בתחומי ההנדסה הביו-רפואית ה"קלאסיים" כדוגמת עיבוד תמונות רפואיות, אולטרה-סאונד והנדסת רקמות, עוסקת כיום האגודה גם בתחומים הנחשבים חדשניים ופורצי דרך כגון תרופות מוכוונות מטרה, ננו רפואה וביולוגיה סינטטית ומערכתית (Israel Society for Medical and Biological Engineering, 2019).

6.3.9 כנסים בישראל

הכנס השנתי של האגודה הישראלית להנדסה ביו-רפואית

האגודה הישראלית להנדסה ביו-רפואית מקיימת מדי שנה כנס שנתי בהשתתפות אנשי אקדמיה, תעשייה ומוסדות רפואה. בפברואר 2019 התקיים בישראל הכנס השנתי של ההנדסה הביו-רפואית לשנה זו. הכנס ארך יומיים וכלל הרצאות של מובילי דעה באקדמיה מהארץ ומחו"ל, רופאים, ואנשי תעשייה מחברות כגון פיליפס, Bioness, Barcode Diagnostics, Early Sense, Alpha Omega ועוד. למעלה מ-100 הרצאות ניתנו בתחומים שונים של ההנדסה הביו-רפואית במהלך הכנס (General information | ISMBE 2019, 2019). בכנס השתתפו כ-800 איש. בנוסף, כ-700 תלמידי תיכון הגיעו לביקור מיוחד בכנס בו הוצגו בפניהם הטכנולוגיות האגודה הישראלית להנדסה ביו-רפואית מקיימת מדי שנה כנס שנתי בהשתתפות אנשי אקדמיה, תעשייה ומוסדות רפואה. בפברואר 2019 התקיים בישראל הכנס השנתי של ההנדסה הביו-רפואית לשנה זו. הכנס ארך יומיים וכלל הרצאות של מובילי דעה באקדמיה מהארץ ומחו"ל, רופאים, ואנשי תעשייה מחברות כגון פיליפס, Bioness, Barcode Diagnostics, Early Sense, Alpha Omega ועוד. למעלה מ-100 הרצאות ניתנו בתחומים שונים של ההנדסה הביו-רפואית במהלך הכנס (General information | ISMBE 2019, 2019). בכנס השתתפו כ-800 איש. בנוסף, כ-700 תלמידי תיכון הגיעו לביקור מיוחד בכנס בו הוצגו בפניהם הטכנולוגיות החדשות ביותר בתחום כדוגמת הדפסת רקמות במדפסת תלת ממד (הפקולטה להנדסה ביו-רפואית בטכניון, 2019).

כנס הביימוד השנתי (IATI Biomed)

מדי שנה מתקיים בישראל כנס מרכזי בתחום הביימוד שכולל חברות רבות מהארץ ומחו"ל בתחומי הביו-פארמה, המכשור הרפואי והבריאות הדיגיטלית, וכן מובילי דעה מהאקדמיה, מהממשלה ומהסקטור הרפואי. הכנס עוסק בתחומים העומדים בחזית המחקר ומוצגים בו בין היתר נושאים כגון בינה מלאכותית בתחום הרפואה, רפואה מותאמת אישית וטיפולים ביולוגיים חדשניים. בכנס נטלים חלק מדי שנה אלפי משתתפים

מישראל ומרחבי העולם. בשנת 2019 כלל הכנס אלפי משתתפים מ-45 מדינות ברחבי העולם והתמקד בנושאים הנמצאים בחזית הטכנולוגיה כגון בינה מלאכותית ברפואה, דיאגנוסטיקה ורפואה מותאמת אישית, Gene editing, רפואת המוח, בריאות דיגיטלית ופיתוחים טכנולוגיים פורצי דרך לטיפול במחלת הסרטן (MIXiii-BIOMED 2019 - IATI, 2019).

6.4 הסקטור התעשייתי

על פי ההערכות, בישראל קיימות כ-1600 חברות פעילות מתחומים שונים של מדעי החיים. מרבית החברות נמצאות בשלבי המו"פ, וכ-40% הם בשלבי ההכנסות הראשונות או בשלבים מתקדמים יותר. רובם הגדול של מרכזי הניהול של החברות נמצא בישראל ואילו כעשירית מהן ממוקם בחו"ל, בעיקר בארה"ב. בישראל עצמה, ממוקמים מרכזי החברות בעיקר באזור תל אביב וכן בירושלים ובחיפה (IATI PWC & IIA, 2019).

בישראל, התעשייה בתחום מוטה ברובה לכיוון המכשור הרפואי. חלוקת החברות בתחומי העיסוק הרלוונטיים לסקירה זאת, מראה כי כ-40% מהחברות עוסקות בתחום המכשור הרפואי, וכ-20% בתחום Health IT. בתחום הפרמצבטיקה עוסקות כ-13% מהחברות ובתחום הדיאגנוסטיקה כ-8%. מעט (2%) חברות עוסקות בתחום הביו-אינפורמטיקה וכ-5% בפיתוח מוצרים ביולוגיים (Biologicals) (IATI PWC & IIA, 2019).

האקו-סיסטם הישראלי בתחום הבריאות הדיגיטלית מתפתח בשנים האחרונות הודות להשקעות ממשלתיות, צמיחתן של חברות חדשות וכניסת משקיעים מקומיים זרים. במסגרת התוכנית "בריאות דיגיטלית כמנוע צמיחה" צפויה הממשלה להשקיע בתחום זה כ-900 מיליון ₪ למשך 5 שנים החל משנת 2018. כן צפויה הממשלה לסייע בהקמתו של מאגר "פסיפס", מאגר נתונים גנטי ייחודי שמטרתו לקדם את תחום הרפואה המותאמת אישית ("התכנית הלאומית לבריאות דיגיטלית כמנוע צמיחה", 2018). במקביל, מוסדות רפואיים בישראל החלו להקים מרכזי חדשנות המשלבים מידע קליני עם פתרונות טכנולוגיים שונים. כך לדוגמא, בבית החולים שיבא הוקם מרכז לחדשנות דיגיטלית שיעסוק בחיזוי של מצבים רפואיים מתוך המידע הקליני ובפיתוח פתרונות לרפואה מרחוק (telemedicine) ("מרכז לחדשנות דיגיטלית | ARC - בית חולים שיבא - תל השומר"). המרכז הרפואי רבין בילינסון-השרון השיק לאחרונה מרכז חדשנות לשילוב טכנולוגיות בינה מלאכותית ו Big Data עם מערכי מחקר קליני ומחקר בסיסי ("בילינסון" השיק מרכז חדשנות המשלב יכולות מתחום הבינה המלאכותית", 2019). במרכזי החדשנות שהוקמו בתוך בתי החולים, יש כוונה לשתף פעולה עם חברות מהתעשייה על מנת למצוא את פוטנציאל החדשנות תוך שיתוף פעולה בין סקטורים אלו.

חברות רב-לאומיות מתעניינות אף הן בתחום הבריאות הדיגיטלית בישראל. חברות מתחום ה ICT (כגון IBM, Amazon, Google) וכן חברות מתחום הפארמה (כדוגמת Leo-Pharma) משתפות פעולה עם גופים מישראל במטרה לנצל את הטכנולוגיה, החדשנות ומאגרי הידע הישראליים בתחום Health IT. במקביל, בין השנים 2011 – 2017, חל גידול מתמיד במספר החברות הפעילות בתחום הבריאות הדיגיטלית בישראל. כמו כן, חלה עליה בהון המגויס במסגרת סבבי הגיוס בחברות אלו והוא עמד על כ-11 מיליון דולר בממוצע לסבב במחצית הראשונה של שנת 2018 לעומת כ-3.5 מיליון דולר ב-2014 (Beazley, 2018). מבין תתי התחומים המרכזיים את תחום הבריאות הדיגיטלית⁶⁵, כשליש מהחברות הן בתחום ה Digital Therapeutics, העוסק במתן כלים ופלטפורמות לפצינט לעקוב ולטפל במצבים רפואיים שונים מהם הוא סובל. כחלק מהטכנולוגיה, מידע ביולוגי, התנהגותי, וסביבתי אודות החולה נאסף ומתורגם להמלצות ברות-ביצוע לשיפור מצבו הבריאותי.

6.4.1 השקעות בתחומים הרלוונטיים ל Bio-Convergence בישראל

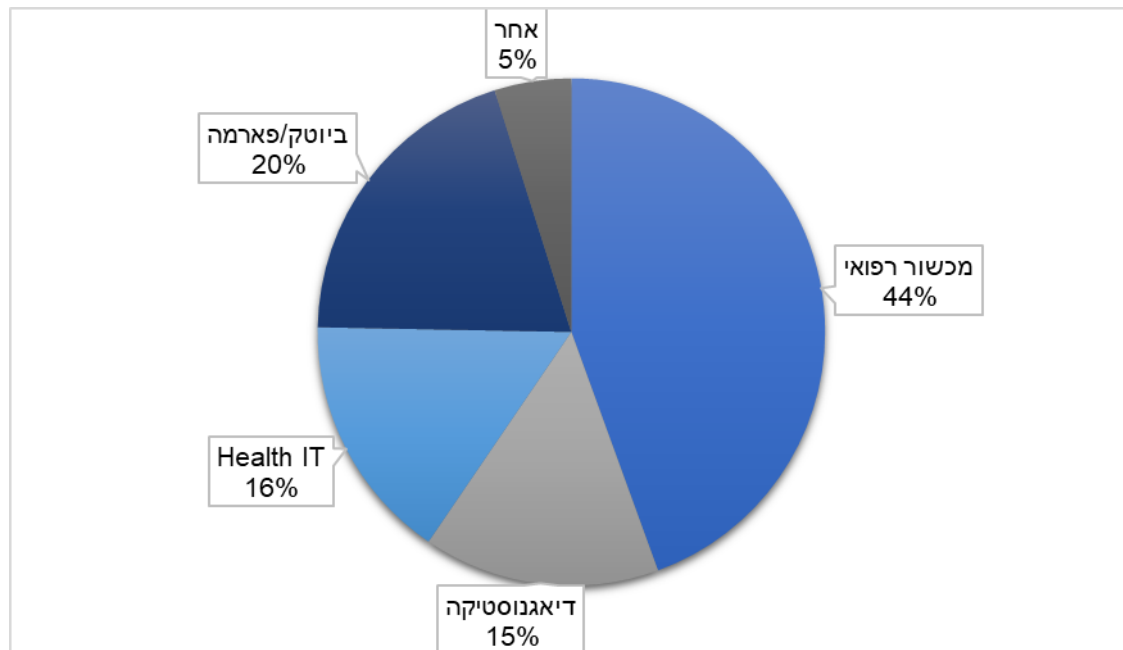
בשנת 2018, גייסו חברות מכלל תחומי מדעי החיים 1.514 מיליארד דולר ב-182 עסקאות. מתוך סכום זה, כ-40% (619 מיליון דולר) הושקעו על ידי משקיעים מישראל והיתר (895 מיליון דולר) על ידי משקיעים מחו"ל. לאורך השנים, ניתן לראות גידול מתמיד של השקעות מישראל ומחוצה לה בתחום. כך, לדוגמא, בשנת 2013 הושקעו סה"כ 993 מיליון דולר מהם 398 מיליון דולר מישראל ואילו בשנת 2016 הושקעו

⁶⁵ Remote Monitoring, Assistive Devices, Diagnostics, Patient Engagement, Clinical Workflow, Decision Support, Digital Therapeutics (Beazley, 2018)

1.052 מיליארד דולר מהם 408 מיליון דולר מישראל. רוב החברות המגייסות היו בשלבי המו"פ (R&D) בעת גיוס הכספים (IATI PWC & IIA, 2019).

איור 27 (להלן) מציג את אחוז גיוסי הכספים של חברות בתחום מדעי החיים מתוך כלל הסכומים שגויסו, על פי תחום העיסוק של החברה. ניתן לראות כי 60% מגיוסי ההון היו בתחומי המכשור הרפואי והבריאות הדיגיטלית (Health IT).

איור 27: אחוז גיוס ההון לשנת 2018 בישראל לפי תחום העיסוק של החברה



מקור: עיבוד מוסד נאמן לנתוני IVC Online-Database כפי שהתפרסמו בדו"ח IATI לשנת 2019 (IATI PWC & IIA, 2019)

בין השנים 2013-18 נרכשו 81 חברות ישראליות בתחום מדעי החיים בסך כולל של 8.6 מיליארד דולר. בשנת 2016 סך הרכישות הסתכם ב 539 מיליון דולר, בשנת 2017 נתון זה עמד על 2.1 מיליארד דולר, ואילו בשנת 2018 חל גידול משמעותי ביחס לשנים הקודמות והוא הסתכם ב 2.7 מיליארד דולר. (על פי נתוני IVC Online-Database כפי שהתפרסמו בדו"ח IATI לשנת 2019 (IATI PWC & IIA, 2019).

6.4.2 דוגמאות לחברות ישראליות העוסקות בתחום

חברת BioSense Webster – חברת BioSense Webster עוסקת בתחום הקרדילוגיה ומפתחת מוצרים להדמיה תלת ממדית וניווט מכשור רפואי. החברה, המשלבת ידע הנדסי, תוכנה ורפואה נרכשה על ידי Johnson & Johnson. תמורת 427 מיליון דולר בשנת 1997.

(Biosense Webster, Inc. - Defining the Field of Electrophysiology, 2018; CARTO® 3 System Modules, 2014; Weinrab, 2013)

חברת Neuroderm - החברה עוסקת בפיתוח חדשני לטיפול במחלת הפרקינסון ומשלבת הנדסה ורפואה לצורך פיתוח מכשור חדשני למתן תרופות לסובלים מהמחלה. החברה נרכשה בשנת 2017 על ידי חברת מיצובישי-פארמה היפנית תמורת 1.1 מיליארד דולר (NeuroDerm – Continuous Therapy, 2014); (ברגמן, 2017).

6.4.3 מסלולי סיוע ממשלתי

הרשות לחדשנות מציעה מספר מסלולים לתמיכה בפיתוח טכנולוגיות הנמצאות בשלבים ראשוניים ויכולות לקדם את הכלכלה בישראל בתחומים שונים ובכלל זה תחומים הקשורים ל Bio Convergence (ראו פירוט להלן). כאמור, בשנת 2018 השקיעה הרשות לחדשנות כ-125 מיליון דולר לקידום התחומים השונים של סקטור מדעי החיים בישראל.

- תוכנית **קמין** של הרשות לחדשנות מסייעת לחבר בין האקדמיה והתעשייה ולקדם מחקרים אקדמיים שיתכן ויתפתחו למחקר תעשייתי ומסחרי ויקדמו יצירתם של מקומות עבודה במשק הישראלי. המענקים ניתנים לחוקרים ממוסדות מחקר בישראל. (מסלול הטבה מס' 18 תוכנית קמין, רשות החדשנות)
- תוכנית **נופר** של הרשות לחדשנות מיועדת להכוונת ידע יישומי באקדמיה ליישום בתעשייה ומטרתה לתעל את הידע לכזה שיגרום לו להיות מאומץ על ידי תאגיד תעשייתי. התוכנית מתמקדת במחקר יישומי חדשני בתחום הטכנולוגי) שפותח במסגרת מחקר בסיסי במוסדות האקדמיים ועשוי להתפתח למחקר ופיתוח בתעשייה הישראלית (מסלול הטבה מס' 7 תוכנית נופר, הכוונת ידע אקדמי, רשות החדשנות).
- מסלול **תנופה** שמיועד לסייע ליזמים לגבש ולקדם רעיון טכנולוגי חדשני לשלב המחקר והפיתוח, בו יוכלו לגייס מימון המשר. המסלול מסייע להגיע לשלב של הוכחת היתכנות טכנולוגית ושימועות עסקית של המיזם (מסלול תנופה - סיוע ליזמים טכנולוגיים מתחילים).
- מסלול **הטבה 35** הינו מסלול לעידוד הקמתם או הרחבתם של פעילויות המו"פ מצד תאגידי תעשייתיים זרים בתחומי הביוטכנולוגיה או הרפואה. התוכנית מעודדת תאגידי תעשייתיים זרים גדולים להקים או להרחיב במדינת ישראל פעילות של חברות הנמצאות בבעלותם בתחומי המו"פ, החדשנות הטכנולוגית או הייצור וכן העברת חלק מהפעילות שלהן לישראל. (מסלול הטבה 35 - תכנית לעידוד הקמת או הרחבת פעילות חברות מחקר ופיתוח של תאגידי תעשייתיים זרים בתחומי הביוטכנולוגיה או הרפואה (פיילוט, רשות החדשנות). במהלך שנת 2018 נבחרו 3 חברות והן: GE, Medtronic, Change Healthcare להשתתף במסלול.
- **תוכניות מו"פ והרצה בתחומי הבריאות הדיגיטלית** – זהו מסלול משותף לרשות החדשנות, למשרד הבריאות ולמטה המיזם הלאומי ישראל דיגיטלית במשרד לשוויון חברתי, ומיועד לפיתוח ויישום טכנולוגיות חדשניות בתחומי הבריאות והרפואה ובחינת היתכנותן במערכות הבריאות. המסלול מתבסס על שיתוף פעולה בין חברות לבין ארגוני בריאות תוך שימוש בנתונים ומידע הנמצאים בידי האחרונים (תכניות מו"פ והרצה בתחומי הבריאות הדיגיטלית, רשות החדשנות).

6.4.4 חממות טכנולוגיות בתחום

בישראל פועלות כיום למעלה מ-15 חממות טכנולוגיות בתתי התחומים המרכיבים את האקו-סיסטם הרלוונטי ל Bio-Convergence, חלק מהחממות נתמכות באמצעות הרשות לחדשנות. הטבלה להלן מציגה חממות אלו ואת תחומי ההתמחות הרלוונטיים שלהן ("Incubators List | Israel Innovation Authority"; PWC & IIA, 2019).

טבלה 11: חממות טכנולוגיות בתחומים הרלוונטיים לביו-פארמה, הנדסה ביו-רפואית ו Health IT

Main Shareholders	Field of Activity	Incubator Name
Dr. Shimon Eckhouse	Medical Device, Health Technology	Alon-MedTech Ventures
Maccabi Health Fund, Cleveland Clinic, eHealth Ventures, Amgen, Shanghai Creation, Shafa Invesco, Medison Pharma	Digital Health	eHealth Ventures
Mikal, Paz Atid Projects, Tav Medical, Mor Research, Next North	Medical Device, Biotech	Galil Ofek Innovation
Peregrine Ventures & Others	Medical Device and Software	Incentive Incubator Ltd
Boston Scientific, Intellectual Ventures, MEDX Xelerator Partners and Tel Hashomer Medical Center	Medical Devices and Digital Health	MEDX Xelerator
Medtronic, IBM, Pitango Venture Capital, Impact 1st Investments, Rambam Medical Center	Digital Health	MindUp
21 partners including Jacobs investment company llc, Salvador Pascual Sanchez Gijon, Abu Ayash Bros. ltd, IBI Investment House, M. Arkin	Life Sciences (Medical Devices and Pharma)	NGT3
Philips Healthcare, Teva Pharmaceuticals	Medical Devices & Digital Health	Sanara Ventures Ltd
Terra Venture Partners	Healthcare & Digitalizing Traditional Industries	Terralab VC
The Trendlines Group Ltd	Medical Technologies	Trendlines Medical
Van Leer Technology Ventures Jerusalem, Xenia Venture Capital	Life Sciences, Artificial Intelligence, Image Processing, Digital Health, ICT	Van Leer Xenia
M Ventures (Merck's corporate venture arm)	Therapeutics	Bio Incubator
OrbiMed Israel, Johnson & Johnson Development Corporation, Takeda Venture Inc	Biotechnology	FutuRx
M Ventures, Arkin Bio Holdings, Pontifax and WuXi AppTec	Biotechnology	ExploreBio
Partnership between M Ventures (Merck's corporate venture arm), Flextronics International (multinational technological manufacturer), HP (US-based hardware and software company), and Battery Ventures (US-based global investment firm).	Electronics and Biologics	PMatX
Yehuda and Nava Zisapel	Medical Device, Biopharma, Diagnostics	RAD BioMed Accelerator
Lonza	Engineering, Software and Life Science	Lonza Collaborative Innovation Center
Youdim Pharmaceuticals	Pharmaceuticals drug development and diagnostics	Youdim Pharmaceuticals

מקור: ("IATI PWC & IIA, 2019"; Israel Innovation Authority | Incubators List)

הערה: דר' ז'נט לזרוביץ' ציינה שקיימות מספר חממות שעוסקות בפרויקטים בתחום ה-Bio-Convergence.

6.5 מענקי מחקר בתחומי ה Bio-Convergence

מענקי המחקר בתחום ה Bio-Convergence נסקרו בחמשת הגופים: ERC, BARD, GIF, BIRD ו- ISF⁶⁶. ככלל, מענקים של ERC ניתנים לרוב למחקר בסיסי ותואמים יותר את ההגדרות של Bio convergence; bio engineering, בעוד מענקים של BIRD, שהיא קרן ייעודית למחקרים תעשייתיים, ניתנים יותר לתחומי Healthcare IT. תמצית התוצאות מתוארת בטבלה 12, התוצאות במלואן מובאות בנספח 1.

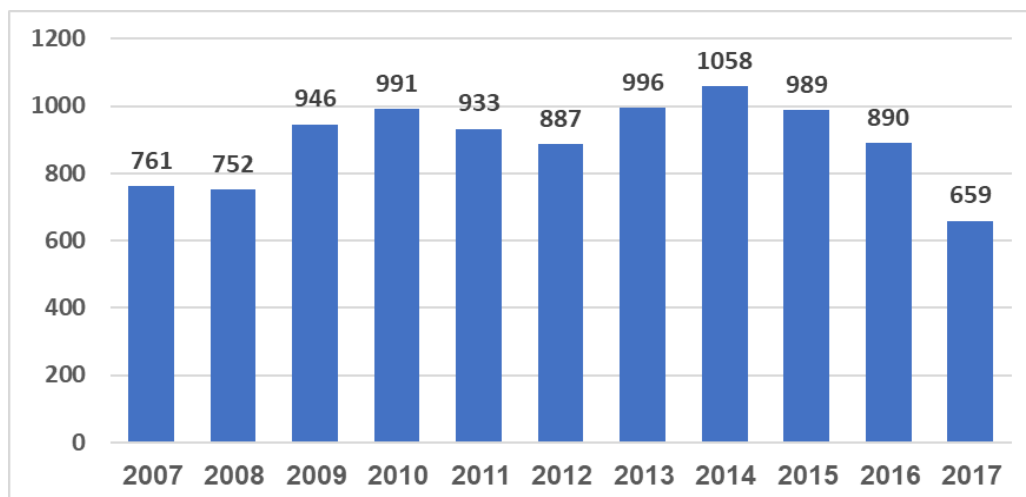
טבלה 12: מענקי מחקר בתחומים רלוונטיים ל Bio-Convergence

Foundation	For Years	No. of relevant Grants
ERC (European Research Council)	2007 - 2019	14
BARD (US-ISRAEL BINATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH AND DEVELOPMENT FUND)	2016 - 2019	0
GIF (The German-Israeli Foundation for Scientific Research and Development)	2011 - 2018	0
BIRD (Binational Industrial Research and Development) Foundation	1988 - 2019	10
ISF (Israel Science Foundation)	1991 - 2019	6
BSF (U.S.-Israel Binational Science Foundation)	1997 - 2019	2
Total		32

6.6 פטנטים

במסגרת עבודה זאת ביצענו בדיקה למיפוי מספר בקשות הפטנטים בתחום ההנדסה הביו-רפואית שהוגשו מישראל בין השנים 2007-2017, על בסיס פרסומים דומים שנעשו בעולם- Rodriguez (Alisova, 2013; Esteban & Bundschuh, 2016). בשל העובדה שמדובר בתחום רחב, בחרנו להתמקד באחת מתוך הקטגוריות הראשיות של תחום ההנדסה הביו-רפואית הקרובה יותר לעולמות התוכן של ההנדסה והמכשור הרפואי⁶⁷. בנספח 2 מפורטים תתי הנושאים שנכללו בחיפוש זה על פי ה - Patent Classification.

איור 28: מספר בקשות לפטנט ב-USPTO, לפי שנת הגשת הבקשה על פי סיווג טכנולוגי A61

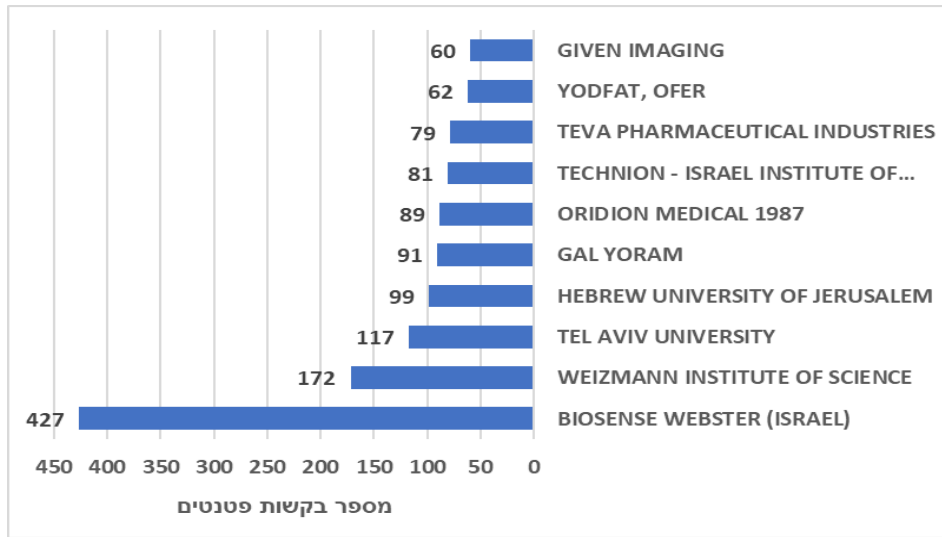


מקור: עיבוד של צוות מוסד גאמן לנתוני USPTO. הנתונים לשנת 2017 לא סופיים.

⁶⁶ מתודולוגיה: נסקרו הגופים העיקריים מהם מקבלים חוקרי ישראל מענקי מחקר. נסקרו כל מענקי המחקר המתוארים באתר הרלוונטי, בכל השנים עבורן יש נתונים. הסריקה נעשתה על ידי מילות החיפוש (Bio convergence; bioengineering; healthcare IT; medicine), ובדיקת התוצאות למטרה המבוקשת.

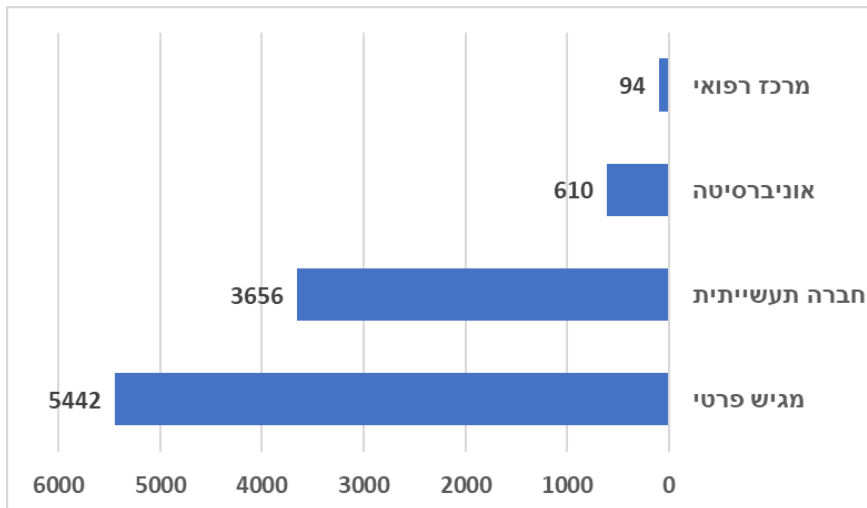
⁶⁷ Patent Classification A61, תתי התחומים מופיעים בנספח 2

איור 29: עשרת המגישים המובילים לפטנט בשנים 2007-2017 ב USPTO לפי סיווג טכנולוגי A61



מקור: עיבוד של צוות מוסד נאמן לנתוני USPTO.

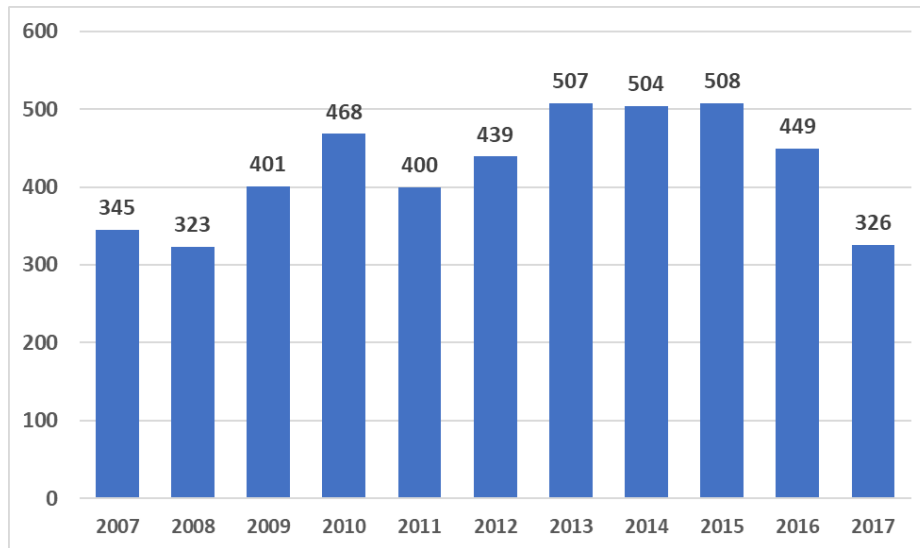
איור 30: מספר הבקשות לפטנט ב USPTO לפי פילוח סקטוריאלי בשנים 2007-2017 לפי סיווג טכנולוגי A61



מקור: עיבוד של צוות מוסד נאמן לנתוני USPTO.

איור 31 להלן מציג ניתוח של מספר הבקשות לפטנט שהוגשו מישראל ל USPTO בתתי הנושאים A61B, A61N בתוך הסיווג הטכנולוגי הכללי A61. תתי נושאים אלו מתייחסים לטכנולוגיות בתחום הדיאגנוסטיקה, ניתוחים, וכן Electrotherapy; Magnetotherapy; Radiation Therapy; Ultrasound Therapy (ראו פירוט מלא בנספח 2).

איור 31: מספר בקשות לפטנט ב-USPTO, לפי שנת הגשת הבקשה על פי תת סיווג טכנולוגי A61N,A61B



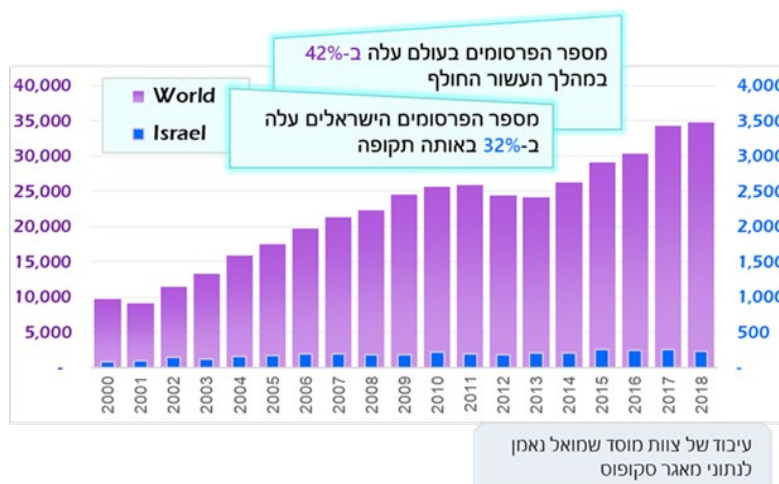
מקור: עיבוד של צוות מוסד נאמן לנתוני USPTO. הנתונים לשנת 2017 לא סופיים.

6.7 ניתוח ביבליומטרי - פרסומים מדעיים

הניתוח הביבליומטרי בוצע על פי חיפוש בעזרת מילות מפתח במאגר סקופוס של Elsevier. האיורים להלן מציגים את עיקרי הממצאים הנוגעים לפרסומים מדעיים בעולם ובישראל בתחום. כנקודת מוצא לניתוח שימש מאמר שהציג ניתוח דומה בתחום ההנדסה הביו-רפואית (Evdokimov, Goryachkina, & Leonov, 2014).

מהניתוח עולה כי מספר הפרסומים הישראליים בתחום ההנדסה הביו-רפואית עלה בעשור האחרון ב-32% ואילו בעולם עלה מספר הפרסומים ב 42% (איור 32).

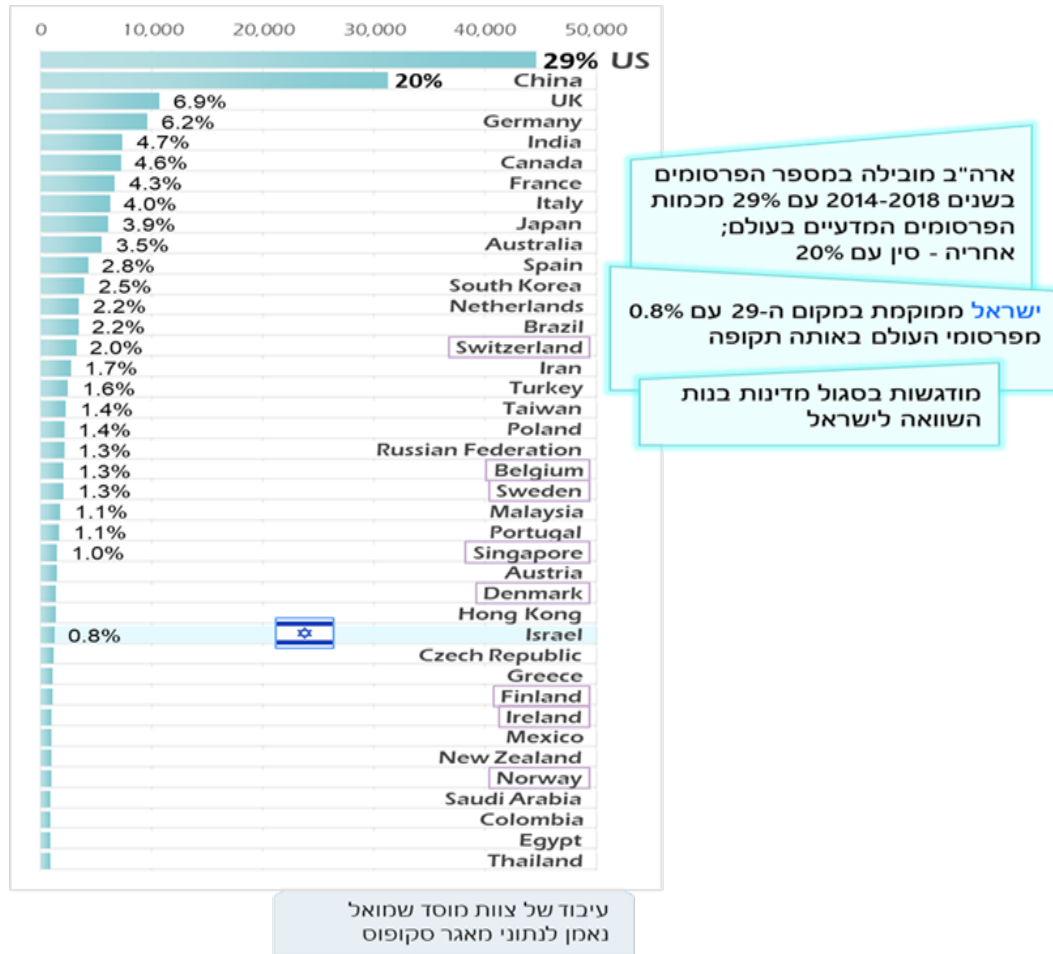
איור 32: מספר הפרסומים המדעיים בתחום ההנדסה הביו-רפואית בישראל ובעולם 2000-2018



מהניתוח עולה עוד כי ישראל ממוקמת במקום ה-29 עם 0.8% מכלל הפרסומים בעולם בתחום ההנדסה הביו-רפואית בין השנים 2014-2018. בעולם, מובילה ארה"ב (29% מכלל הפרסומים) ולאחריה סין (20%) ובריטניה (6.9%).

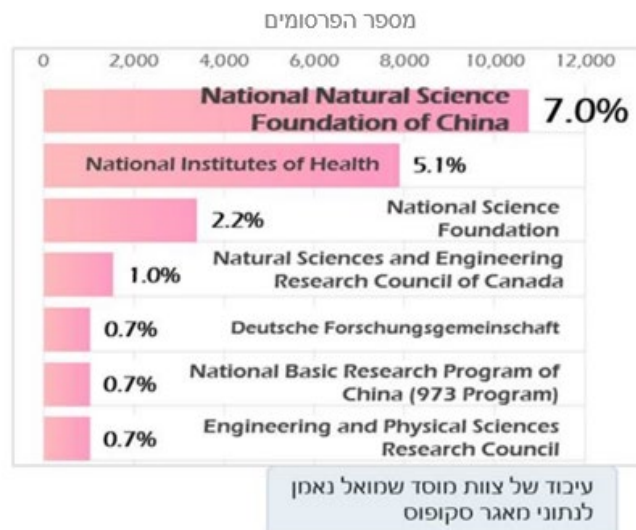
(איור 33).

איור 33: דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים בתחום ההנדסה הביו-רפואית בשנים 2014-2018



איור 34 מציג את גופי המימון המובילים לפי מספר הפרסומים בתחום ההנדסה הביו-רפואית בשנים 2014-2018. ניתן לראות כי הגופים הממשלתיים של ארה"ב וסין עומדים בראש הטבלה.

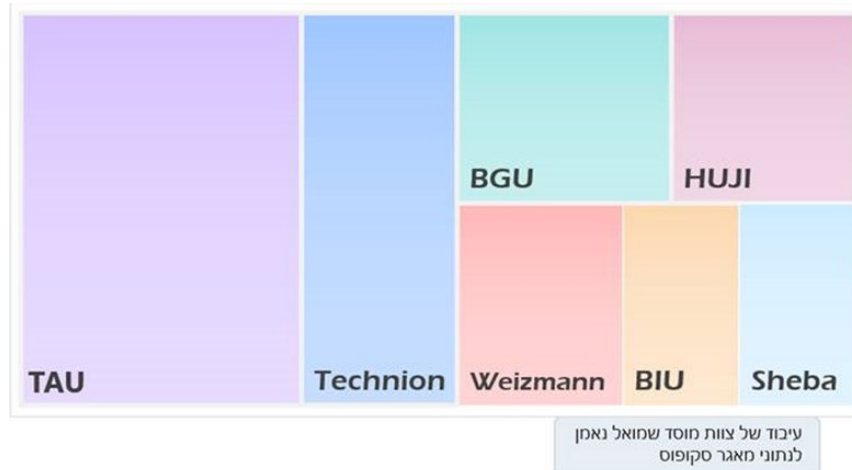
איור 34: גופי המימון המובילים⁶⁸ לפי מספר הפרסומים בתחום ההנדסה הביו-רפואית בשנים 2014-2018



⁶⁸ מבוסס על ה Acknowledgment לגוף המממן המופיע בפרסום.

איור 35 מדגים באופן סכמטי את התפלגות הפרסומים הישראליים בתחום ההנדסה הביו-רפואית לפי אוניברסיטאות⁶⁹ לשנים 2014-2018. ניתן לראות כי אוניברסיטת תל אביב ואחריה הטכניון מובילים במספר הפרסומים.

איור 35: תיאור סכמטי של התפלגות הפרסומים הישראליים בתחום ההנדסה הביו-רפואית לפי אוניברסיטאות בשנים 2014-2018



6.8 תובנות והמלצות

6.8.1 חולשה בתחום הפארמה החדשני בישראל לעומת פוטנציאל השוק הגלובאלי

על פי הערכות שונות, שווי שוק התרופות העולמי צפוי להגיע בשנת 2024 לכדי למעלה מ-1.1 טריליון דולר (Evaluate Pharma, 2019). לעומת זאת, שווי שוק המכשור הרפואי צפוי להגיע לכדי כ-600 מיליארד דולר באותה תקופה (Evaluate, 2018) כמחצית מזה של שוק הפארמה העולמי. חברת מדטרוניק (Medtronic) הובילה את חברות המכשור הרפואי בהיקף המכירות שהסתכמו בכ-30 מיליארד דולר בשנת 2018 (Technavio, 2019). באותה שנה, חברת פיזר, מחברות הפארמה המובילות בעולם, מכרה בהיקף של למעלה מ-50 מיליארד דולר (Pfizer, 2019).

מנתוני מכון היצוא הישראלי עולה כי שנת 2017 הייתה שנת שיא ביצוא התרופות מישראל, שהסתכם ב-7.5 מיליארד דולר (מכון היצוא הישראלי, 2018). עם זאת, בשנת 2018 חלה ירידה משמעותית של 22% לרמה של 5.85 מיליארד דולר, הנמוכה ביותר בעשור האחרון, וזאת בשל תנודות הקשורות ביצור וביצוא של חברת טבע (גזית, 2019; מכון היצוא הישראלי, 2019a). במחצית הראשונה של שנת 2019 הסתמנה ירידה נוספת של 33% בייצוא התרופות מישראל לעומת התקופה המקבילה אשתקד (מכון היצוא הישראלי, 2019b).

יצוא תרופות מישראל בשנים 2004-2019

ליצוא הישראלי חשיבות גדולה לכלכלת ישראל, הוא קטר הצמיחה של המשק הישראלי ומקור מרכזי לתעסוקה יציבה ושגשוג כלכלי וחברתי. היצואנים הם חוד החנית של התעשייה הישראלית ומהגורמים המובילים בצמיחת המשק. הזירה הבינלאומית מציבה אתגרים מורכבים וקשים בפני היצואנים הישראליים,

פיתוח תרופות מקור ויצורן בישראל יכול להוות מנוע מרכזי בצמיחה ובשגשוג הכלכלי של המדינה. תעשיית תרופות המקור העולמית נמצאת במקום הראשון בהשקעה במחקר ופיתוח ביחס לסך המכירות. בארץ, תעשיית תרופות המקור תוך שימוש במודל ה-Bio-Convergence יכולה לתרום רבות להגדלת כושר התחרותיות של ישראל ולתרום אחוז יפה לערך המוסף של המשק. זאת באמצעות פיתוח ההון האנושי,

⁶⁹ גם באוניברסיטאות בהן לא קיימת באופן רשמי פקולטה או מחלקה להנדסה ביו-רפואית קיימים חוקרים מפקולטות אחרות שעוסקים ומפרסמים בתחום.

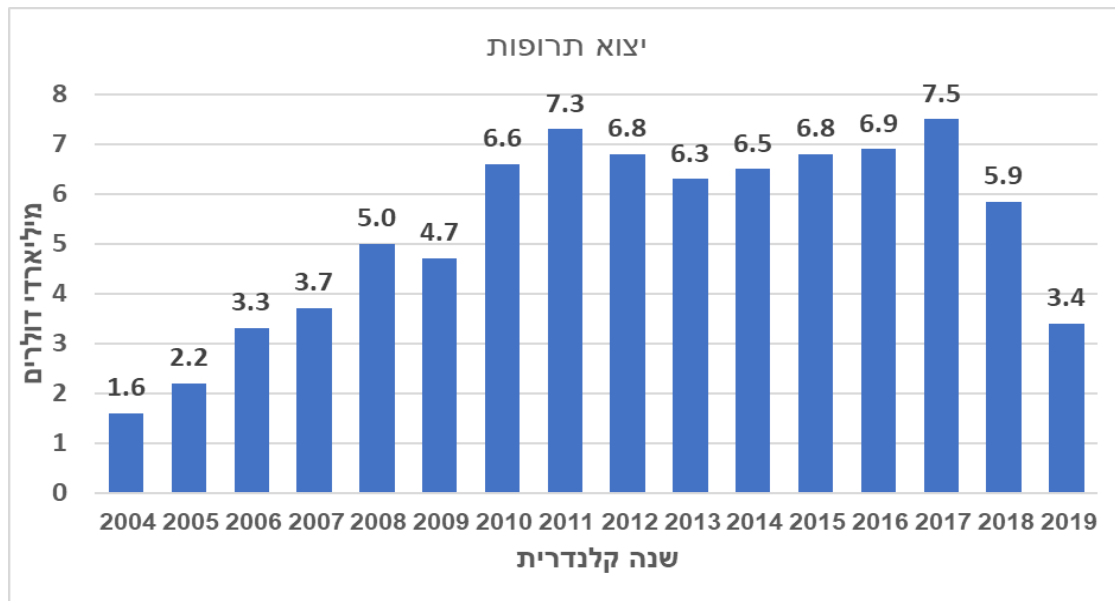
ויצירת עשרות אלפי משרות במעגלי התעסוקה הישירים והעקיפים. בנוסף, ייצור תרופות מקור במדינת ישראל יכול לחזק את החוסן החברתי החשוב.

יצוא התרופות בשנת 2017 הגיע לשיא של על 7.5 מיליארד דולר

בסיכום שנת 2018 ירד היצוא בשיעור חד של כ- 22%, ועמד על 5.85 מיליארד דולר. בסיכום שנת 2019 ירד היצוא בשיעור חד של כ- 40% והסתכם בכ- 3.4 מיליארד דולר.

הסיבה העיקרית לירידה ביצוא היא מרכזיותה של חברת טבע שהייתה אחראית לאחוז משמעותי מהיצוא. כמו כן אנו עדים לכך שבמהלך עשרים השנים כמעט ולא קמו בישראל חברות משמעותיות ומפעלי ייצור של תרופות חדשניות. עם היחלשותה של חברת טבע אנו עדים לירידה בהיקפי היצוא כמתואר באיור 36.

איור 36: תיאור יצוא התרופות בשנים 2004-2019



מקור: עיבוד מוסד שמואל נאמן על פי נתוני מכון היצוא

למעשה ייצוא התרופות בשנת 2019 מביא את מדינת ישראל בחזרה לשנת 2006 בעוד שבמדינות דומות כמו סינגפור, דנמרק, הולנד היקף היצוא בגין גידול בייצור כתוצאה מהשקעות ממשלתיות גדולות במחקר ופיתוח רק הולך וגדל.

איור 37: תיאור מגמת הירידה



מקור: עיבוד מוסד שמואל נאמן על פי נתוני מכון היצוא

6.8.2 החשיבות בניצול יתרונותיה של ישראל גם לתחום הפארמה כדוגמת חדשנות טכנולוגית בתהליכי פיתוח תרופות

כאמור, על אף הפוטנציאל הכלכלי הרב שיש בשוק זה, בישראל נראה כי תעשיית הפארמה טרם הבשילה לכדי מיצוי מלא של הפוטנציאל העומד בבסיסה וזאת על אף המצוינות המדעית הבינלאומית של האקדמיה המקומית (Israel Innovation Authority, 2017; Samuel Neaman Institute, 2019). בשל מצוינותה המדעית של ישראל ופוטנציאל השוק בתחום זה, שילובם של היתרונות הטכנולוגיים בישראל עם פיתוחים חדשניים בתחום הפארמה עשויים להוות הזדמנות לקדם את התעשייה בתחום זה. על פי דו"ח IATI לשנת 2019, ישנו צורך "להדק" את הקשר של תחום הביו-פארמה אל שאר הסקטורים המשתתפים בתהליך ה-Bio-Convergence (IATI PWC & IIA, 2019). עבודות ראשוניות שנעשו במוסד נאמן תומכות בגישה זאת.

חוקרים העוסקים בגילוי תרופות חדשניות מבקשים לשלב כלים מתקדמים ויכולות אנליטיות באמצעות כמות גדולה של נתונים ובינה מלאכותית כדי לסייע בתהליך מורכב זה. מאמצים אלה מתרכזים בכמה היבטים של התהליך, כמו גילוי מבנים מולקולריים, תכנון מולקולות חדשות וניבוי תגובות כימיות הקשורות לתרופות אלה. כלים מודרניים של בינה מלאכותית (AI) מסייעים לחוקרים באיתור מבנים מולקולריים מתאימים באופן מהיר ומדויק יותר מהשיטות בהן עשו שימוש בעבר ולפיכך יש בהם פוטנציאל לקידום התחום, אם כי בשל חדשנות הטכנולוגיה, פוטנציאל זה טרם הוכח. (Buvailo & Ajami, n.d.; Coley, Barzilay, Jaakkola, Green, & Jensen, 2017; Schneider, 2018; Zhang et al., 2017).

בשל העובדה שתהליכי פיתוח תרופות בטכנולוגיות חדשניות רלבנטיות הם יקרים וארוכים ובעלי סיכון רב מבחינה טכנולוגית וכלכלית, ישנה חשיבות רבה לפיתוח חדשנות שתסייע להתגבר על החסמים בתחום זה. בשנים האחרונות חברות ענק בתחום הפארמה משתפות פעולה עם חברות המתמחות בתחום בינה מלאכותית (AI) והן משקיעות עשרות מיליוני דולרים בפיתוח שיטות חדשות המבוססות על טכניקות למידת מכונה, בינה מלאכותית וניתוח מאגרי נתונים גדולים כדי לנסות ולהאיץ את תהליך גילוי התרופות, להפחית את עלויות המו"פ ואת שיעורי הכישלון בתעשייה (Reader, 2019; Walker, 2019). זאת, בנוסף על הצורך לענות על דרישת השוק ההולכת וגוברת לספק הוכחות בנוגע ליעילותן בפועל של התרופות גם לאחר קבלת אישור רגולטורי. חשוב לציין כי המחקר החדשני הנוגע לתהליכי פיתוח תרופות אינו מוגבל לשימושים רק בכלי בינה מלאכותית וכולל גם היבטים טכנולוגיים נוספים בתחומי הביו-פארמה ובהם יצירתם של Bio-Molecular Platforms שהם מודלים המפותחים על ידי חברות מסחריות ומטרתן לאפשר גילוי של מולקולות בעלות ערך עבור מספר מחלות באופן יעיל וחסכוני מזה הקיים. על פי דו"ח של חברת מקינזי, השימוש בפלטפורמות אלו בשילוב יכולות הדיגיטציה והאוטומציה מאיץ את תהליך הפיתוח ומהווה חדשנות שעשויה להיות בעלת ערך לחברות הפארמה הגדולות (Leclerc & Smith, 2018).

עוד יש לציין כי אמנם במאמצי מו"פ אלו כלולים היבטים של בריאות דיגיטלית אך כאן אין הכוונה לשימושים ה"קלאסיים" של פיתוח תוכנה לצורך ניתוח מידע קליני ממוסדות רפואיים או ביצוע תחזיות רפואיות על בסיס תיקי חולים דיגיטליים, אלא ניצול הטכנולוגיה לתחום בעל שווי שוק עצום שהרווחים בו, במקרים של פיתוחים מוצלחים, גדולים מאד ואף עשויים להיות יציבים לאורך שנים.

רתימת החדשנות הטכנולוגית והאופי היזמי בישראל למציאת שיטות טכנולוגיות להפחתת הסיכון הפיננסי וקיצור משך הזמן הנדרש לתהליכי גילוי ופיתוח תרופות חדשניות, כמו גם הנעת מו"פ על תהליכים יעילים וזולים יותר ושילוב של כלי מחשוב מתקדמים בתהליכים אלו, עשויה להיות בעלת פוטנציאל כלכלי רב לישראל. זאת, ללא הצורך בשלב הראשון, להשקיע בתהליכים הארוכים של פיתוח תרופות. לצורך יצירת מיומנויות וכישורים בתחום זה יש לשלב את האקדמיה והתעשייה ואחד המודלים העשויים להיות מועדפים לכך הינו דוקטורט תעשייתי המשלב אקדמיה עם התנסות תעשייתית בחברה פעילה.

6.8.3 דוקטורט תעשייתי בתחום תהליכי פיתוח התרופות

במדינות להן תעשייה מפותחת בתחום מדעי החיים כגון דנמרק, קיים מודל של דוקטורט תעשייתי (Industrial PhD) במסגרתו עבודת הדוקטורט מתבצעת בשילוב של חברה תעשייתית יחד עם המוסד האקדמי. עבודת הדוקטורט נתמכת על ידי תוכנית ממשלתית שבמסגרתה מקבל הסטודנט שכר על עבודתו

בחברה התעשייתית. יתרונות התוכנית הם בכך שמדובר במדע יישומי ובפתרון בעיה מעשית הנדרשת לתעשייה, בשילובו של הסטודנט בצוות עבודה תעשייתית דבר הפותח בפניו את שוק העבודה ובהידוק הקשר בין האקדמיה והתעשייה (Industrial PhD, 2019). בישראל, קיים מספר רב של בוגרי דוקטורט בתחום מדעי החיים שמחפשים תעסוקה המתאימה להכשרתם (Wilerfort, 2014), ואימוץ מודל מעין זה עשוי לסייע בכך כמו גם לקדם פתרונות יישומיים בתעשייה. מראיונות ראשוניים שערכנו בתעשיית התרופות, התרשמנו כי לרעיון זה עשויות להיות השפעות חיוביות בתעשייה ואנו ממליצים על בחינתו לעומק.

6.8.4 חסמים וכשלי שוק נוספים

בשיחה שקיימנו עם ד"ר ז'נט לזרוביץ' בתאריך 29 בדצמבר 2019 הועלו מספר חסמים וכשלי שוק ביישום ה- Bio-Convergence לתחום הרפואה

- קיים חוסר בהשקעות בחברות מתחילות – חברות הון סיכון נמנעות מלהשקיע בחברות ביוטכנולוגיה מתחילות בשל רמת הסיכון הגבוהה.
- המשקיעים והשוק לא מכירים את הנושא של Bio-Convergence ולא יודעים כיצד להתמודד אתו. זאת בשל העובדה שיש צורך באיחוד של מספר דיסציפלינות על מנת לפתח מוצר מצליח.
- יש בישראל הרבה בוגרי ביולוגיה שמתקשים למצוא עבודה ושלא נחשפו בכלל לשוק התרופות. לעומת זאת מהנדסים ואנשי תוכנה נחטפים על ידי תעשיית ה- ICT. כדי לבנות צוות של חוקרים בתעשיית התרופות החדשניות, יש צורך לפתור את הבעיה של זמינות כוח אדם מתאים ושילוב אנשים מדיסציפלינות שונות.
- אין ממשק מספק בין האקדמיה לתעשייה בשלבים המוקדמים של מחקר, לכן מומלץ לעודד עבודות מאסטר ודוקטורט בשילוב תעשייתי.
- אין כיום מנגנון להכשרת הדור הבא של אנשי תעשייה. חסרים מנהלים שיש להם הכרות עם שוק התרופות המורכב, שיוכלו לקדם חברות הזנק וחברות קטנות. רק על ידי פיתוח תעשיית פארמה יציבה ניתן יהיה לגשר על הפערים הללו.

כשלי שוק וחסמים

כשל ראשון: היעדר מימון לחברות לעבור את עמק המוות

רוב החדשנות, אם לא כולה, בתחום של תרופות חדשניות היא תוצאה של מחקר באקדמיה. אבל, מגיע שלב שבו הפעילות המחקרית חייבת לעבור לשלב היותר מעשי. ברור שהמעבר לשלב זה אינו ערובה להצלחה אבל הוא הכרחי. בשלב זה, גם אם המיזם מתבצע בתוך האקדמיה, המיזם צריך מנהל שמבין את התעשייה וכמובן השקעה כספית. משמעות הדבר שחייבים לעבור שלב המכונה "עמק המוות". עמק המוות הוא מונח המתאר את המחסור בכסף וביכולות ניהול איכותיות של בעלי ניסיון ואת הסיכון הטכנולוגי הגבוה הקיים לאורך כל שלבי הפיתוח של התרופה. שלב זה הוא עדין שלב מוקדם שיש בו גורם סיכון שמרתיע חברות הון סיכון מלהשקיע. התוצאה היא שהאקדמיה נאלצת למכור את הרעיון בסכום נמוך לעומת הפוטנציאל העתידי או שהפעילות נפסקת וכל מה שהושקע עד כה יורד לטמיון.

כשל שני: היצע נמוך של משקיעים עם ניסיון בתעשייה

בתעשייה כיום קיים היצע נמוך של משקיעים עם ניסיון בתעשיית התרופות. משקיעים כאלה תורמים רבות לחברות הביו-פארמה שדרושים להן ידע וניסיון רב. משקיעים אלו יכולים להוביל את המוצרים הנמצאים בתהליכי פיתוח של החברה לקבלת אישורים ב- FDA בארה"ב וב- EMA באירופה.⁷⁰

קיימים למעשה שני סוגי משקיעים בעלי ידע וניסיון אשר מלווים את השקעתם גם במומחיות בתחום הביו-פארמה והם:

⁷⁰ The European Medicines Agency

קרנות הון סיכון: קרנות אלה נוהגות ללוות את החברות שבהן הן משקיעות בתהליך הארוך והמייגע של פיתוח התרופות ומייעצות להן על בסיס הידע והניסיון הרב שמנהליהן צברו לאורך השנים.

משקיעים אסטרטגיים: לרוב מדובר בחברות תרופות וביו-פארמה גדולות אשר מחליטות להשקיע במימון חברת הזנק בתמורה לחתימה על הסכמי מסחור. הסכמים אלה נותנים לחברה את הזכות למסחר בעתיד את התרופות שהחברות מפתחות. הניסיון מראה שהמשקיעים האסטרטגיים מלווים באופן צמוד את פיתוח התרופות בחברות בהן הן מושקעות ומסייעים להן על בסיס הניסיון הרב שיש להם בפיתוח תרופות ואישורן על ידי הרגולטורים בארה"ב ובאירופה.

כשל שלישי: היעדר משקיעים מוסדיים ישראלים בתעשייה

תעשיית ההיי-טק הישראלית מהווה במשך שנים את קטר הצמיחה של המשק הישראלי. עם זאת, היקף ההשקעה של הגופים המוסדיים בחברות היי-טק ישראליות נמוך בהשוואה למצופה, ועומד על פחות מ-0.5% בלבד מסך הנכסים המנוהלים על ידם.⁷¹ בישראל קיימת תשתית של ידע וחדשנות שלא ניתן להתעלם ממנה, ואכן העולם לא החמיץ לנצל את ההזדמנות בפרט כאשר מדובר על השקעה בחברות בתחומי ה-ICT השונים. ידע רב קיים בתעשיית הביו-טכנולוגיה ובכל הקשור לפיתוח תרופות חדשניות לסוגים שונים של מחלות כולל מחלות יתום.⁷² אחת הסיבות לכך זה חוסר הידע והיכולת לנתח חברות בתחום פיתוח התרופות שלא לדבר על חברות שמפעילות מודל של שימוש רב תחומי (Bio-Convergence) כדי להגיע למוצר המיוחל.

מועצת רשות החדשנות אישרה תוכנית חדשה לקידום השקעות, בשיתוף הרשות לניירות ערך. במסגרתה, גופים כקרנות פנסיה וחברות ביטוח יוכלו לקבל מענק של עד מיליון דולר לחמש שנים, והרשות תשווה השקעות שיבצעו. בנושא זה יצאה הרשות בקול קורא ובבקשה שהמוסדיים יקימו גוף עם אנאליסטים שמכירים את השוק ויכולים לנתח חברות בתחום.⁷³

לאחרונה יצאה רשות החדשנות בקול קורא למסלול הטבה מס' 40 – קידום יכולות אנליזה להשקעה בתעשייה עתירת הידע אצל גופי שוק ההון המוסדיים כאשר התאריך האחרון להגשת הצעות הוא 12 במרץ 2020.

כשל שוק רביעי: תעשיית תרופות לא מפותחת

על פי ההערכות שונות קיימות היום בישראל כ-1600 חברות פעילות מתחומים שונים של מדעי החיים. מרבית החברות נמצאות בשלבי המו"פ, וכ-40% הם בשלבי ההכנסות הראשונות או בשלבים מתקדמים יותר. רובם הגדול של מרכזי הניהול של החברות נמצא בישראל ואילו כעשירית מהן ממוקם בחו"ל, בעיקר בארה"ב. בישראל עצמה, ממוקמים מרכזי החברות בעיקר באזור תל אביב וכן בירושלים ובחיפה.

בישראל, התעשייה בתחום מוטה ברובה לכיוון המכשור הרפואי. חלוקת החברות בתחומי העיסוק הרלוונטיים לסקירה זאת, מראה כי כ-40% מהחברות עוסקות בתחום המכשור הרפואי, וכ-20% בתחום ה-Health IT. בתחום הפרמצבטיקה ופיתוח תרופות חדשניות עוסקות כ-13% מהחברות ובתחום הדיאגנוסטיקה כ-8%. מעט (2%) חברות עוסקות בתחום הביו-אינפורמטיקה וכ-5% בפיתוח מוצרים ביולוגיים (Biologicals).

רוב החברות הן חברות קטנות בהן היקף כוח האדם עומד על 10-50 עובדים.

מניתוח שנעשה במוסד שמואל נאמן על פי נתוני Start Up Nation Central עולה שמרבית החברות בארץ העוסקות בתחום הפארמה הן חברות קטנות המעסיקות לכל היותר עד 50 עובדים ומרביתן אף פחות מכך.⁷⁴

⁷¹ <https://www.themarket.com/blogs/itai-green/BLOG-1.6704587>

⁷² KEY INDUSTRY INSIGHTS. The global **orphan drugs** market **size** was at USD 125,016.1 Million in 2017 and is projected to reach USD 294,037.8 Million by 2025, exhibiting at a CAGR of 11.4% during the forecast period (2018-2025).

Source: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/orphan-drugs-market-100088>

⁷³ <https://www.calcalist.co.il/local/articles/0.7340.L-3773644.00.html>

⁷⁴ עם מילות המפתח: Start Up Nation Central על בסיס ניתוח שנעשה בעזרת נתוני Pharmaceutical, Biopharmaceutical, Pharmaceutical preparation, Drug-design, Orphan-drug, Drug-discovery, Therapeutics

על פי ראיונות ראשוניים שערכנו, נוכחנו לדעת כי קיימת בעיה בהכשרת ההון האנושי בהיבט של תיאום בין הידע הנרכש במהלך הלימודים האקדמיים לבין המיומנויות הנדרשות בתעשייה. פער משמעותי זה בהכשרה דורש מצד החברה המגייסת השקעה נוספת מבחינת זמן ותקציבים שאינם תמיד זמינים.

6.8.5 קידום נושא Bio-Convergence בישראל

כדי לקדם את הנושא נדרש לגייס מספר משרדי ממשלה (משרד הכלכלה, משרד האוצר, משרד הבריאות, משרד החינוך, משרד לאיכות הסביבה). כמו כן, יש צורך לרתום את המל"ג לצרכי הכשרה מתאימה ואת-ISF לשם קבלת מענקי מחקר. יש צורך לעודד מענקי מחקר נוספים ולהגדיל את המענקים במסגרת תוכניות קמין ונופר של רשות החדשנות. זאת כדי ליצור זרם של רעיונות ומחקרים חדשניים שיכולים להביא להקמתם של חברות הזנק. חברות אלה צריכות להיות במצב שיוכלו לשכנע משקיעים חיצוניים שבתום תהליך של 3-5 שנים הפעילות תוביל להכנת מסמך **An Investigational New Drug Application (IND)**. מסמך זה הוא למעשה בקשה לאישור ממנהל המזון והתרופות בארה"ב (FDA) לניהול מחקר לפיתוח תרופה או מוצר ביולוגי לשימוש בני אדם. כדי שהדבר יצליח משרד הבריאות שמשמש כרגולטור בנושא חייב להיות שותף לתהליך.

כמו כן מומלץ להקים באחת האוניברסיטאות או המוסדות להשכלה גבוהה מכון מחקר **בהשראה ביולוגית כדוגמת מכון Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering** באוניברסיטת הרווארד בבוסטון, ארה"ב. זאת מתוך ראייה של הצורך בשילוב תחומים שונים של ביולוגיה, רפואה והנדסה.

מכון Wyss (The Wyss Institute)⁷⁵ משתמש בעקרונות עיצוב ביולוגיים תוך שימוש במספר תחומים מעולם ההנדסה כדי לפתח מוצרים חדשניים שיהפכו את הרפואה ויצרו עולם שהוא בר-קיימא ויותר ידידותי לבני האדם. על ידי חיקוי עקרונות ביולוגיים של הרכבה עצמית, ארגון ורגולציה, החוקרים והמהנדסים במכון מפתחים פתרונות טכנולוגיים פורצי דרך לבריאות, אנרגיה, ארכיטקטורה, רובוטיקה וייצור, המתורגמים למוצרים וטיפולים מסחריים באמצעות הקמת חברות הזנק (סטארט-אפים) חדשות ויצירת שיתופי פעולה עם חברות פארמה ואחרות.

משיחות עם מספר גורמים המעורים בנושא כולל ד"ר ז'נט לזרוביץ' וד"ר איתי קלע הרעיון המרכזי שחייבים להטמיע הוא: כאשר מקימים צוות רב-תחומי (מולטי-דיסציפלינרי) הרבה יותר קשה להוציא אותו מהארץ לחו"ל. זאת לאור העובדה שהתוצר השלם הרבה יותר משמעותי מהמרכיבים הבודדים. לכן הסיכוי גבוה שחברות שמפתחות מוצר (תרופה, תרופה ביולוגית, ציוד רפואי, כלי דיאגנוסטיקה) במודל רב-תחומי תשארנה בארץ. התוצאה היא שגדל הסיכוי להקמת תעשייה ברת-קיימא בישראל.

לסיכום חייבים לציין שבעיקרון הכסף הנדרש הוא כסף גדול ולכן יש לראות זאת כמשימה לאומית. נכון לעת הזו המשקיעים לא יודעים איך להתמודד עם הנושא ויש חשיבות רבה לבנות מודל עסקי שיוודע להתמודד עם יצירת מיזם הכולל מהנדסים, אנשי ביולוגיה, קלינאים כאשר כולם מקבלים שכר שמתחרה בשוק. רק כך אפשר יהיה לייצר פרויקטים עם רעיונות חדשניים ומקוריים שיתרמו להקמת תעשייה מתוחכמת בתחום.

6.8.6 מיון Bio-Convergence ליצירת פוטנציאל כלכלי עתידי

ד"ר סוזן הוקפילד (Dr. Susan Hockfield)⁷⁶, האישה הראשונה שהייתה נשיאה של MIT University וכיום היא פרופסור ל - Neuroscience וחברה במכון קוך (Koch Institute)⁷⁷, מאמינה כי ההתכנסות של ביולוגיה והנדסה תהיה המגמה הטכנולוגית המהפכנית הגדולה ביותר של המאה ה-21. בעקבות שיחה עם

⁷⁵ למידע נוסף הקורא מופנה לקישורים הבאים:

https://en.wikipedia.org/wiki/Wyss_Institute_for_Biologically_Inspired_Engineering
<https://wyss.harvard.edu/>

⁷⁶ Convergence of biology and engineering will be "one of the transformational technology trends of the 21st century". **PUBLISHED:** 09 Nov 2018

<https://informaconnect.com/convergence-biology-engineering-susan-hockfield-mit/>

⁷⁷ The Koch Institute for Integrative Cancer Research, a National Cancer Institute (NCI)-designated Cancer Center, is a state-of-the-art cancer research facility as well as the hub of cancer research on the MIT campus.
<https://ki.mit.edu/>

דר' איתי קלע – מוביל אסטרטגי בנושא Bio-Convergence ברשות החדשנות – ברורה החשיבות הגדולה בהכשרת כוח אדם איכותי על מנת לטפח את הנושא בארץ.

ברשות לחדשנות הוחלט לקדם את הנושא של Bio-Convergence תוך התמקדות בתחום הרפואה כאשר החזון הוא שהנושא יתממש ויהווה מנוע צמיחה בכלכלת ישראל. באירוע השקת התוכנית בהדסה ירושלים על יד אהרון אהרון, מנכ"ל רשות החדשנות, תחת הכותרת

Bio-Convergence – The Future of Health-Tech

הודגשה העובדה ש - Bio-Convergence חייבת להיות פעילות רב-תחומית שבה עובדים ביחד ביולוגים, מהנדסים, תכנתים ואחרים ממספר תחומים שהאינטגרציה ביניהם יכולה להוביל לחדשנות פורצת דרך. דוגמה לתחומים ומוצרים שפיתוחם דורש התכנסות של עולם הביולוגיה עם עולם ההנדסה אפשר לראות בדברים הבאים: Lab-on-chip תוך שימוש בטכנולוגיה של *Microfluidic לפיתוח של Microfluidic devices, הדפסה תלת ממדית (3D) של תוצרים אורגניים, Gene Editing, Bioelectronics, Ontogenetic, הנגשת תרופה בתוך גוף האדם על ידי רובוט אורגני (Living Robotics), חומרים חכמים כמו גם הנדסת רקמות.

מניתוח הפעילות של מכון Wyss באוניברסיטת הרווארד ומכון Koch ב-MIT וגם משיחה עם ד"ר איתי קלע עולה כי עולם הרפואה נמצא בנקודת שינוי שבה הטיפול הרפואי בבני אדם (פיתוח תרופות, מכשירי רפואה מתקדמים וכלי דיאגנוסטיקה) מאמץ יותר ויותר את הגישה החדשנית של Bio-Convergence. כל הנושא יכול להפוך לתעשייה עם פוטנציאל כלכלי מאוד גבוה למדינת ישראל.

*Microfluidics

Microfluidics refers to the behavior, precise control, and manipulation of fluids that are geometrically constrained to a small scale at which capillary penetration governs mass transport. It is a multidisciplinary field that involves engineering, physics, chemistry, biochemistry, nanotechnology, and biotechnology.

6.8.7 המלצות

בשל העובדה שתהליכי פיתוח תרופות הם ארוכים ויקרים, ישנו צורך בחזון ארוך טווח ומדיניות מקיפה ויעילה על מנת להתניע שיתופי פעולה מדעיים ואקדמיים בתחום זה. במדיניות מפותחות, כדוגמת ארה"ב ובריטניה, הממשלה משקיעה אמצעים רבים על מנת לאפשר את שיתוף הפעולה ואת האינטגרציה בין מרכזים אקדמיים, מרכזים רפואיים והתעשייה על-מנת לקדם תהליכים של פיתוח תרופות חדשניות ו"תרגומו" של מחקר מדעי בתחום מדעי החיים והרפואה למוצרים בני קיימא המשמשים לתועלת הציבור.

חברות פארמה גדולות (כמו גם קרנות הון סיכון) מעדיפות להשקיע בטכנולוגיות שכבר קודמו ועברו תהליך מסוים של De-Risking (הורדת הסיכון) כגון ניסויים פרה-קליניים, IND⁷⁸, ואף שלבים מוקדמים של ניסויים קליניים. בהתאם, הרווחים למוסד האקדמי או לחברה המפתחת גדלים ככל שהטכנולוגיה נמכרת בשלבים בשלים יותר. **לכן יש צורך בהקמת מרכז לתרגום המחקר הבסיסי למוצר. במסגרת זו אפשר יהיה להביא את המחקרים הרלוונטיים למצב מתקדם שבו חברות פארמה וחברות הון סיכון ישקיעו במיזמים ובכך יגשרו על "עמק המוות"**. מטרת מכון תרגומי היא לזהות ולהאיץ פיתוחים רפואיים חדשניים במטרה לקדם את בריאות הציבור בישראל ובעולם. בנוסף, המכון יקיים הכשרות בתחומי המחקר התרגומי וכמו כן יסייע למדענים לקדם את המצאותיהם לשלבים יותר מתקדמים.

בשל ייחודיות תחום הפארמה ומאפיינים שהוזכרו לעיל, קיים צורך במדיניות יציבה וארוכת טווח על-מנת לתמוך באופן משמעותי בשיתופי פעולה בין הסקטורים השונים כגון האקדמיה, התעשייה והממשל, ולגשר על הפער בין המדע הבסיסי שרובו נעשה באקדמיה, לבין המוצר המאושר לשיווק. למדיניות זאת צריכה להיות גם התייחסות לנושא הכשרת כוח האדם שמתאים לעסוק בתחום ולהעניק לו את הידע המעשי הנדרש בדיסציפלינות שונות כגון כימיה תרופתית, פרה-קליניקה, ניסויים קליניים, רגולציה וניהול פרויקטים בתחום.

⁷⁸ Investigational New Drug

6.9.1 נספח 1: מענקי מחקר בתחום ה Bio-Convergence

ERC

Year	Researcher	Institute	Title	Budget
2008	Ehud Shapiro	Weizmann Inst	Biomolecular computers	2 125 980 €
2009	Dvir Yelin	Technion	Multiphoton Ionization Nano-Therapy	1 782 600 €
2010	Hossam Haick	Technion	Diagnosis, Screening and Monitoring of Cancer Diseases via Exhaled Breath Using an Array of Nanosensors	1 200 000 €
2012	Yael Hanein	TAU	Functional nano Materials for Neuron Interfacing Applications	1 499 560 €
2012	Doron Gerber	BIU	Multi-Dimensional Lab-On-Chip	1 497 990 €
2012	Amir Amedi	HUJI	'Seeing' with the ears, hands and bionic eyes: from theories about brain organization to visual rehabilitation	1 499 900 €
2013	Galia Blum	HUJI	Protease Activated X-Ray Contrast Agents for Molecular Imaging of Vulnerable Atherosclerotic Plaques and Cancer Development using Spectral CT (Computed tomography)	1 499 780 €
2013	Ido Bachelet	BIU	Molecular Robots Exhibiting Collective Behavior	1 496 063 €
2013	Sarel-Jacob Fleishman	Weizmann Inst	Computational design of novel protein function in antibodies	1 499 930 €
2014	Eran Azriel Segal	Weizmann Inst	High-throughput drug screening for identifying personalized cancer treatments tailored to the particular mutations of the patient's tumor	150 000 €
2015	Avraham Dror Schroeder	Technion	Next-Generation Personalized Diagnostic Nanotechnologies for Predicting Response to Cancer Medicine	1 499 250 €
2015	Yaakov Nahmias	HUJI	Tracking the Dynamics of Human Metabolism using Spectroscopy-Integrated Liver-on-Chip Microdevices	2 118 175 €
2016	Amos TANAY	Weizmann Inst	Algorithms and experimental tools for integrating very large-scale single cell genomics data	2 437 500 €
2017	Ofra BENNY	HUJI	Mechanical Targeting as an Integrative Approach for Personalized Nanomedicine	1 499 875 €
Tota				14

**BIRD (It provides conditional grants of up to 50% of a project's budget, up to 1 M \$.)
Only Israeli grantee is mentioned**

Year	Researcher	Institute	Title	Budget
2011	MedCPU Ltd.	Company	MedCPU Advisor Platform	
2012	Healarium Israel Ltd.	Company	Application for Self-Monitoring of Cardiovascular Risk	
2013	LifeOnKey Israel Ltd.	Company	Integration of the Electronic Health Record	
2014	New NI Medical 2011 Ltd.	Company	Development of Comprehensive Telemedicine System for Use in the Emerging Home Health Care Monitoring Market	
2014	CliniWorks (Israel) Ltd.	Company	Gaps in Care Program (GiCP) – Healthcare Quality Analytics and Patient Engagement Portal	
2015	Telesofia Medical Ltd.	Company	Personalized Wellness Video (PWV)	
2015	MobileODT Ltd.	Company	Advanced Cervical Cancer Analysis in Remote Areas	
2016	MedAware Ltd.	Company	Prescription Error Surveillance	
2017	Pill Tracker Ltd.	Company	EMR/EDC Hub – An Electronic Bridge between Medicine and Science	
2017	M.You Cognitive Technologies Ltd.	Company	V2U – MyndYou Data-Driven Care Delivery	
Total				10

BSF (only Israeli researcher mentioned)

Year	Researcher	Institute	Title	Budget
2001	Vago Razi	BGU	Bioengineering of Articular Cartilage	\$81396
2015	Ben-Assuli Ofir	Ono Academic College	Learning from healthcare systems using data analytics techniques	\$60000
Total				2

ISF (~ 300,000 NIS per year for 4 years)

Year	Researcher	Institute	Title	Budget
2011	Roded Sharan	TAU	Reconstructing Annotated Signaling Networks	
2013	Eytan Ruppin	TAU	New computational methods for personalized modeling of human metabolism on a genome scale and their application for studying breast cancer	
2018	Ronit Satchi-Fainaro	TAU	Elucidating tumor-host interactions to design precision nanomedicines for the prevention and treatment of melanoma brain metastases	
2019	Karen Avraham	TAU	Big Data to Therapy: Personalized Medicine for the Deaf in the Diverse Jewish Population	
2019	Michael Danilenko	BGU	The Israel Leukemia Registry: integration of an AML clinical database	

	Mordechai Deutsch Eitan Rubin, Michael Milyavsky		with personalized ex vivo and in vivo validated single-cell characteristics to improve prognosis	
2019	Aviad Raz Shiri Shkedi- Rafid	BGU	From DNA Sequencing to Personalized Medicine: Social and Ethical Aspects of genome-wide sequencing in cancer care	
Total				6

6.9.2 נספח 2: תתי התחומים הנכללים בסיווג טכנולוגי A61

Classification	Description
<u>A61B</u>	<u>DIAGNOSIS; SURGERY; IDENTIFICATION</u>
<u>A61C</u>	<u>DENTISTRY; APPARATUS OR METHODS FOR ORAL OR DENTAL HYGIENE</u>
<u>A61D</u>	<u>VETERINARY INSTRUMENTS, IMPLEMENTS, TOOLS, OR METHODS</u>
<u>A61F</u>	<u>FILTERS IMPLANTABLE INTO BLOOD VESSELS; PROSTHESES; DEVICES PROVIDING PATENCY TO, OR PREVENTING COLLAPSING OF, TUBULAR STRUCTURES OF THE BODY, E.G. STENTS; ORTHOPAEDIC, NURSING OR CONTRACEPTIVE DEVICES; FOMENTATION; TREATMENT OR PROTECTION OF EYES OR EARS; BANDAGES, DRESSINGS OR ABSORBENT PADS; FIRST-AID KITS</u>
<u>A61G</u>	<u>TRANSPORT, PERSONAL CONVEYANCES, OR ACCOMMODATION SPECIALLY ADAPTED FOR PATIENTS OR DISABLED PERSONS. OPERATING TABLES OR CHAIRS; CHAIRS FOR DENTISTRY; FUNERAL DEVICES</u>
<u>A61H</u>	<u>PHYSICAL THERAPY APPARATUS, e.g. DEVICES FOR LOCATING OR STIMULATING REFLEX POINTS IN THE BODY; ARTIFICIAL RESPIRATION; MASSAGE; BATHING DEVICES FOR SPECIAL THERAPEUTIC OR HYGIENIC PURPOSES OR SPECIFIC PARTS OF THE BODY</u>
<u>A61J</u>	<u>CONTAINERS SPECIALLY ADAPTED FOR MEDICAL OR PHARMACEUTICAL PURPOSES; DEVICES OR METHODS SPECIALLY ADAPTED FOR BRINGING PHARMACEUTICAL PRODUCTS INTO PARTICULAR PHYSICAL OR ADMINISTERING FORMS; DEVICES FOR ADMINISTERING FOOD OR MEDICINES ORALLY; BABY COMFORTERS; DEVICES FOR RECEIVING SPITTLE</u>
<u>A61K</u>	<u>PREPARATIONS FOR MEDICAL, DENTAL, OR TOILET PURPOSES</u>
<u>A61L</u>	<u>METHODS OR APPARATUS FOR STERILISING MATERIALS OR OBJECTS IN GENERAL; DISINFECTION, STERILISATION, OR DEODORISATION OF AIR; CHEMICAL ASPECTS OF BANDAGES, DRESSINGS, ABSORBENT PADS, OR SURGICAL ARTICLES; MATERIALS FOR BANDAGES, DRESSINGS, ABSORBENT PADS, OR SURGICAL ARTICLES</u>
<u>A61M</u>	<u>DEVICES FOR INTRODUCING MEDIA INTO, OR ONTO, THE BODY DEVICES FOR TRANSDUCING BODY MEDIA OR FOR TAKING MEDIA FROM THE BODY DEVICES FOR PRODUCING OR ENDING SLEEP OR STUPOR</u>
<u>A61N</u>	<u>ELECTROTHERAPY; MAGNETOTHERAPY; RADIATION THERAPY; ULTRASOUND THERAPY</u>

(WIPO) מקור:

6.10 מקורות

- ביו הנדסה - לימודים לתואר מוסמך (n.d.) אוחרז בנובמבר 20, 2019 מתוך:
<http://moon.cc.huji.ac.il/nano/pages/WebChugInfoNew.aspx?page=&removebotton=1&faculty=2&year=0&entityType=chug&entityId=582°reeCode=72>
- “בילינסון” השיק מרכז חדשנות המשלב יכולות מתחום הבינה המלאכותית”. אוחרז בנובמבר 20, 2019 מתוך:
<https://quality.doctorsonly.co.il/2019/09/174325/>
- ברגמן, ר. (2017). החברה מרחובות נמכרה תמורת 1.1 מיליארד ד. אוחרז בנובמבר 18, 2019 מתוך:
<https://www.yediot.co.il/articles/0,7340,L-4993800,00.html>
- גזית, א. (2019). טבע משכה את שוק התרופות למטה: 1,254 משרות קוצצו. אוחרז בנובמבר 6, 2019 מתוך:
<https://www.calcalist.co.il/local/articles/0,7340,L-3753661,00.html>
- המחלקה להנדסה ביו רפואית. אוניברסיטת ת"א. (n.d.). אוחרז בנובמבר 13, 2019 מתוך:
<https://engineering.m.tau.ac.il/biomed/main>
- המחלקה להנדסה ביו רפואית. אוניברסיטת בן גוריון. (n.d.). אוחרז בנובמבר 13, 2019 מתוך:
<https://in.bgu.ac.il/engn/biomed/Pages/default.aspx>
- הפקולטה להנדסה ביו רפואית בטכניון. (2019). הכנס השנתי להנדסה ביו-רפואית. אוחרז בנובמבר 19, 2019 מתוך:
<https://biomed.faculty-ms.technion.ac.il/> הכנס-השנתי-להנדסה-ביו-רפואית-2019
- התכנית הלאומית לבריאות דיגיטלית כמנוע צמיחה. (2018). אוחרז מתוך:
https://www.gov.il/BlobFolder/pmopolicy/des3709_2018/he/digital290418.pdf
- מכון היצוא הישראלי. (2018). התפתחויות ומגמות ביצוא הישראלי דו"ח סיכום לשנת 2017 ותחזית ל 2018.
- מכון היצוא הישראלי. (2019a). התפתחויות ומגמות ביצוא הישראלי דו"ח מסכם לשנת 2018 ותחזית 2019.
- מכון היצוא הישראלי. (2019b). התפתחויות ומגמות ביצוא הישראלי סיכום למחצית הראשונה של 2019.
- מסלול הטבה 35 - תכנית לעידוד הקמת או הרחבת פעילות חברות מחקר ופיתוח של תאגידים תעשייתיים זרים בתחומי הביוטכנולוגיה או הרפואה (פיילוט). הרשות לחדשנות. (n.d.). אוחרז בנובמבר 18, 2019 מתוך:
<https://innovationisrael.org.il/rules/3247>
- מסלול הטבה מס' 18 תכנית קמין. הרשות לחדשנות. (n.d.). אוחרז בנובמבר 18, 2019 מתוך:
<https://innovationisrael.org.il/rules/2935>
- מסלול הטבה מס' 7 – נפר – הכוונת ידע אקדמי. הרשות לחדשנות. (n.d.). אוחרז בנובמבר 18, 2019 מתוך:
<https://innovationisrael.org.il/rules/3085>
- מסלול תנופה - סיוע ליזמים טכנולוגיים מתחילים. (n.d.). אוחרז בנובמבר 18, 2019 מתוך:
<https://innovationisrael.org.il/tnufa?qclid=EAlalQobChMI5oiatYrz5QIV1oTVCh0utAmoEAYASAAEqKq7fD BwE>
- מרכז לחדשנות דיגיטלית | ARC - בית חולים שיבא - תל השומר. (n.d.). אוחרז בנובמבר 17, 2019 מתוך:
<https://www.sheba.co.il/>
- מרכזים ומכונים | מכון ויצמן למדע. (n.d.). אוחרז בנובמבר 20, 2019 מתוך:
<https://www.weizmann.ac.il/pages/he/research-activities/centers-and-institutes>

- רשות החדשנות. תכניות מ"פ והרצה בתחומי הבריאות הדיגיטלית. (n.d.). אוחזר בנובמבר 18, 2019, מתוך: https://innovationisrael.org.il/general_content/3760
- Alexander Grass Center for Bioengineering. (n.d.). Retrieved November 20, 2019, from: http://cbsh.cs.huji.ac.il/Center_for_Bioengineering/Welcome.html
- Alisova, N. V. (2013). Biomedical Engineering in International Patent Classification. *Biomedical Engineering*, 47(3), 164–167. <https://doi.org/10.1007/s10527-013-9360-7>
- Beazley, A. (2018). Start-Up Nation Central Digital Health Report 2018. Retrieved November 17, 2019, from: <https://lp.startupnationcentral.org/digitalhealth-2018/>
- Biosense Webster, Inc. - Defining the Field of Electrophysiology. (2018). Retrieved November 18, 2019, from: <https://www.biosensewebster.com/emea/>
- Buvailo, A., & Ajami, A. (n.d.). Top 7 Trends In Pharmaceutical Research. (2018). *BioPharmaTrend*. Retrieved November 24, 2019, from: <https://www.biopharmatrend.com/post/60-top-7-trends-in-pharmaceutical-research-in-2018-and-beyond/>
- CARTO® 3 System Modules. (2014). Retrieved from: www.biosensewebster.com.
- Coley, C. W., Barzilay, R., Jaakkola, T. S., Green, W. H., & Jensen, K. F. (2017). Prediction of Organic Reaction Outcomes Using Machine Learning. *ACS Central Science*, 3(5), 434–443. <https://doi.org/10.1021/acscentsci.7b00064>
- EBRC. (2019). Engineering Biology: A Research Roadmap for the Next-Generation Bioeconomy. Retrieved December 29, 2019, from: <https://roadmap.ebrc.org/>
- Evaluate. (2018). EvaluateMedTech World Preview 2018, Outlook to 2024 | Evaluate. Retrieved December 24, 2019, from: <https://www.evaluate.com/thought-leadership/medtech/evaluatemedtech-world-preview-2018-outlook-2024>
- Evaluate Pharma. (2019). World Preview 2019, Outlook to 2024. Retrieved November 24, 2019, from: https://info.evaluate.com/rs/607-YGS-364/images/EvaluatePharma_World_Preview_2019.pdf
- Evdokimov, V. I., Goryachkina, T. G., & Leonov, B. I. (2014). Analysis of Publication Activity in the Field of Biomedical Engineering in 2003-2012. *Biomedical Engineering*, 48(1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s10527-014-9403-8>
- General information. ISMBE 2019 . (2019). Retrieved November 13, 2019, from: <http://bme-il.com/general-information/>
- IATI PWC, & IIA. (2019). Israel's Life Sciences Industry IATI Report 2019. Retrieved from: www.iati.co.il
- Incubators List. Israel Innovation Authority – רשות החדשנות. (n.d.). Retrieved November 13, 2019, from <https://innovationisrael.org.il/startup/programsrnd/incubators/list>
- Industrial PhD. (2019).
- Israel Innovation Authority. (2017). חדשנות בישראל תמונת מצב. Retrieved from: https://innovationisrael.org.il/sites/default/files/תמונת_מצב_2017.pdf
- Israel Society for Medical and Biological Engineering. (2019). Retrieved November 13,

- 2019, from <http://ismbe.org.il/אודות-האגודה-הישראלית-להנדסה-ביו-רפוא/>
- Leclerc, O., & Smith, J. (2018). Digital and the future of drug discovery and development | McKinsey. Retrieved December 24, 2019, from: <https://www.mckinsey.com/industries/pharmaceuticals-and-medical-products/our-insights/how-new-biomolecular-platforms-and-digital-technologies-are-changing-r-and-d#>
- MIXiii-BIOMED 2019 - IATI. (2019). Retrieved November 21, 2019, from <https://www.iati.co.il/conference/44/mixiii-biomed-2019>
- National Academies of Sciences Engineering and Medicine. (2019). Fostering the Culture of Convergence in Research: Proceedings of a Workshop | The National Academies Press. Retrieved November 19, 2019, from: <https://www.nap.edu/catalog/25271/fostering-the-culture-of-convergence-in-research-proceedings-of-a>
- NeuroDerm – Continuous Therapy. (2014). Retrieved November 18, 2019, from: <https://neuroderm.com/>
- NRC (National Research Council). (2014). Convergence: Facilitating Transdisciplinary Integration of Life Sciences, Physical Sciences, Engineering, and Beyond. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18722>
- Pfizer. (2019). Pfizer Inc. - PFIZER REPORTS FOURTH-QUARTER AND FULL-YEAR 2018 RESULTS. Retrieved December 24, 2019, from: <https://investors.pfizer.com/investor-news/press-release-details/2019/PFIZER-REPORTS-FOURTH-QUARTER-AND-FULL-YEAR-2018-RESULTS/default.aspx>
- Reader, R. (2019). DeepMind, Insilico, and the race to change how drugs are made. Retrieved November 24, 2019, from: <https://www.fastcompany.com/90402484/the-billion-dollar-race-to-change-how-drugs-are-made>
- Rodriguez-Esteban, R., & Bundschuh, M. (2016, June 1). Text mining patents for biomedical knowledge. Drug Discovery Today. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2016.05.002>
- Samuel Neaman Institute. (2019). Models for Translational Medical Research in Israel. Retrieved November 26, 2019, from: <https://www.neaman.org.il/EN/Models-for-Translational-Medical-Research--in-Israel/>
- Schneider, G. (2018, February 1). Automating drug discovery. Nature Reviews Drug Discovery. Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/nrd.2017.232>
- Sharp, P. A., Cooney, C. L., Kastner, M. A., Lees, J., Sasisekharan, R., Yaffe, M. B., ... Sur, M. (2011). The Third Revolution: The Convergence of the Life Sciences, Physical Sciences, and Engineering.
- Technavio. (2019). Medical Device Companies: Top 10 in the World 2019 | Global Medical Device Industry Report. Retrieved December 24, 2019, from: <https://blog.technavio.com/blog/top-10-medical-device-companies-worldwide>
- Walker, J. (2019). Machine Learning Drug Discovery Applications – Pfizer, Roche, GSK, and More. Retrieved November 24, 2019, from: <https://emerj.com/ai-sector->

[overviews/machine-learning-drug-discovery-applications-pfizer-roche-gsk/](#)

Weinrab, G. (2013). Israel attracts global healthcare giants - Globes. Retrieved November 18, 2019, from: <https://en.globes.co.il/en/article-1000810965>

What Do We Offer? | FutuRx. (2019). Retrieved November 6, 2019, from: <https://www.futurx.co.il/what-do-we-offer/>

Wilerfort, T. (2014). דוקטור בלי עבודה: הדנא הלא תקין של לימודי מדעי החיים בישראל. Retrieved January 30, 2019, from: <https://www.calcalist.co.il/Ext/Comp/ArticleLayout/CdaArticlePrint1280/0,16492,3629085,00.html>

WIPO. (n.d.). A61. Retrieved November 19, 2019, from: <https://www.wipo.int/classifications/ipc/en/ITsupport/Version20180101/transformations/ipc/20180101/en/htm/A61.htm>

Zhang, C., Idelbayev, Y., Roberts, N., Tao, Y., Nannapaneni, Y., Duggan, B. M., ... Gerwick, W. H. (2017). Small Molecule Accurate Recognition Technology (SMART) to Enhance Natural Products Research. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13923-x>

7 אגירת אנרגיה (Energy Storage)

תודתנו לעופר גולדהירש ואמיר הירשפלד על הערותיהם ועל עזרתם במיקוד הסקירה.
תודתנו לעופר גולדהירש, פרופ' גרשון גרוסמן ועידן ליבס על הראיונות שקיימנו איתם בנושא.

7.1 אגירת אנרגיה - רקע

אגירת אנרגיה מתארת תהליכים שונים שנועדו לאגור אנרגיה ולהמיר אותה כך שיהיה ניתן להשתמש בה לצרכים השונים בנקודות זמן שונות. נושא אגירת אנרגיה חשוב לניצול יעיל של רשת החשמל ולשילוב של אנרגיות מתחדשות ליצירת חשמל, קידום תחבורה היברידית וחשמלית ועוד. האגירה יוצרת איזון בייצור החשמל ותורמת לביטחון באספקה שוטפת של חשמל. שוק מערכות אגירת האנרגיה הוערך בשווי של 340 מיליארד דולר בשנת 2018 והוא צפוי להתרחב ביותר מ-6% עד שנת 2025 (Global Market Insights Inc., 2018) במקביל להתפתחות המתמשכת של מערכות אגירת אנרגיה למשאבי אנרגיה מתחדשים. הנטייה בעולם הינה לעבור לפרויקטים המשלבים הפקת אנרגיות מתחדשות עם מתקני אגירת אנרגיה, בעיקר בסין, ארה"ב ואירופה (iea, 2019). המיקוד המתמשך ביצור של אנרגיה מתחדשת נובע בעיקר מהגידול בצריכת האנרגיה בעולם ותופס תאוצה בשל השקעות נרחבות של הסקטור הפרטי והסקטור הציבורי בטכנולוגיות של אנרגיה מתחדשת. דוגמאות לכך הן שוק אגירת האנרגיה בסין שהוערך ביותר מ-700 מיליון דולר ב-2017, ופריסת הקיבולת המצטברת בסין צפויה לעבור את ה-4,000MW⁷⁹ עד 2024. שוק אגירת האנרגיה בארה"ב, שהוערך ביותר מ-400 מיליון דולר בשנת 2017, צפוי לגדול אל מעבר ל-3,000MW⁶⁵ לשנה עד 2024 (Global Market Insights Inc., 2018). כמו כן, שוק אגירת האנרגיה באירופה גדל ב-2017 ב-50% לעומת 2016 (EASE, 2019).

טכנולוגיית אגירת אנרגיה הינה מערכת הקולטת אנרגיה ומאחסנת אותה לפרק זמן מסוים לפני שחרורה הלאה על פי דרישה לאספקת אנרגיה או שירותי חשמל. הטכנולוגיה הפכה לנפוצה יותר ונדרשת יותר, בעיקר בתעשיית החשמל, יחד עם הדרישה לאנרגיה נקייה ושימוש באנרגיות מתחדשות (כגון, קרינת השמש, גאות ושפל, גלי ים, רוח, ביומסה, הידרואלקטרית, גיאותרמית) והירידה בעקומת העלות של אנרגיות אלו. טכנולוגית האגירה הינה בעלת פוטנציאל כלכלי משמעותי, היות שמערכות אלו מיעלות את התשתיות ליצירת אנרגיה ומוזילות את העלויות עבור הצרכנים.

ניתן לנתח את שוק הטכנולוגיה של מערכות אגירת האנרגיה בעולם לפי סוגי הטכנולוגיה לאגירה, לפי המשתמש הסופי (בית מגורים, שירותי ציבורי) ולפי סוג היישום (רשת חשמל, תחבורה).

סוגי הטכנולוגיות השונות מבוססות על גישות של אגירת אנרגיה כימית, אנרגיה תרמית, אנרגיה מכנית, אנרגית מימן ואנרגית מים. גישות אלו מחולקות לחמש קטגוריות עיקריות (ESA, 2019):

1. **Batteries Storage** - אגירת אנרגיה בסוללה באמצעות המרה של אנרגיה כימית.
2. **Thermal Energy Storage** - אגירת אנרגיה תרמית.
3. **Mechanical Storage** - מערכות אגירת אנרגיה מכניות.
4. **Hydrogen Energy Storage** - המרה של עודפי ייצור חשמל למימן באמצעות אלקטרוליזה.
5. **Pumped Hydropower Storage** - אגירת אנרגיה הידרואלקטרית בקנה מידה גדול באמצעות מאגרי מים.

המערכות לאגירת אנרגיה עוברות מהפכה טכנולוגית מתמשכת כך שיוכלו לאגור אנרגיה ביעילות ובנוחות ולהתגבר על המחסומים המסורתיים של אספקת אנרגיה רציפה. המגמות להתפתחות הטכנולוגיות בתחום נובעות מאימוץ של מערכות אגירה לרשת החשמל ולתחבורה, אימוץ של טכנולוגיות לאנרגיות מתחדשות ומהצורך לשילוב של תוכנה לניהול יעיל של מערכות האנרגיה (AESO, 2018).

⁷⁹ מגה-ואט (MW) שווה ל-1,000,000 וואט; ג'יגה-ואט-שעה (GWh) שווה למיליארד וואט-שעה; קילוואט-שעה (קוט"ש) (kWh), שווה ל-1000 וואט-שעה

נרחיב על שלוש טכנולוגיות מובילות בנושא של אגירת אנרגיה: אגירה על ידי סוללות, קבלי על ואגירה של מימן. בנוסף, נרחיב על שלושה יישומים בייצור וניהול חשמל עם שילוב של מערכות לאגירת אנרגיה (מערכות סולאריות, אנרגיה לצריכה עצמית, רכבים חשמליים וטכנולוגיות לניהול רשת):

7.2 פיתוח טכנולוגי של סוללות לאגירת אנרגיה ליישומים שונים

סוללות לאגירת אנרגיה יהוו את מקור האנרגיה הזול בעולם לרכבים היברידיים וחשמליים, בתי מגורים, תחנות כוח סולאריות ועוד (פורום אנרגיה, 2019). על פי סקר של בלומברג (Bloomberg, 2019), ארה"ב מובילה היום בייצור סוללות אך לאחרונה אירופה נצמדת אליה כך שיכולת ייצור הסוללות שלה עומד על סף של צמיחה דרמטית, ועד 2023 היא צפויה לעקוף אותה.

המו"פ הטכנולוגי של הסוללות מתרכז בעיקר בהגברת היעילות של הסוללות: יכולות קיבולת האגירה של הסוללה, ביצועים טובים יותר בטמפרטורות גבוהות ופריקה עצמית נמוכה לאורך זמן, חיי סוללה ארוכים יותר, הקטנת גודל הסוללה, ושימוש בטוח בסוללה. למשל, תכנית העבודה של horizon 2020 לשנים 2018-2020 מציגה יוזמה מחקרית רחבת היקף חדשה לטכנולוגיות עתידיות של סוללות כחלק מביניית עתיד אקלימי דל פחמן. למשל, קהילה הבונה מפת דרכים לאגירה של אנרגיה אלקטרוכימית חכמה בעלת ביצועים גבוהים. האתגר בפרויקט זה הוא לשלב את המחקר האקדמי והתעשייתי וכן את קהילת החדשנות מתחומים שונים לפיתוח מפת דרכים לטווח ארוך לטכנולוגיות חדשות של אגירת אנרגיה אלקטרוכימית. תחום זה חשוב לפיתוח התעשייה האירופאית ולענות על צרכים של סקטורים רבים ויישומים כמו ניידות אלקטרונית ואגירת אנרגיה מתחדשת (horizon 2020, 2019).

דוגמאות לחידוש בתחום הסוללות בארץ: חברת StoreDot הישראלית מפתחת סוג חדש של סוללת flash למכוניות חשמלית המבוססות על תרכובות אורגניות חדשניות במקו רכיבי ליתיום טיפוסיים. החברה דורגה במקום ה-4 מבין חברות הסטארט-אפ המובילות בעולם בפיתוח סוללות (EnergyStartups, 2019).

על מנת להתמודד עם הדרישה ההולכת וגוברת לחשמל ועומס ייצור החשמל, אנו נדרשים ליכולות של אגירת אנרגיה לטווחי זמן ארוכים יותר. שיפורים אלו מתוכננים בעיקר בסוגי הסוללות הבאים:

Lithium-ion battery - סוללות ליתיום-יון הינן הדומיננטיות היום בשוק הסוללות והמגמה רק תתחזק לאור ההשקעות הגדולות שמבוצעות במפעלי ייצור ברחבי העולם, כך שסוללות אלו להפוך לטכנולוגיה השלטת ב-10 השנים הקרובות (World Economic Forum, 2019). השיפורים המתמשכים בסוללות אלו (למשל, הגדלת יכולת אגירת אנרגיה עד 8 שעות), הופכים אותן ליעילות לאספקה של חשמל מתחנות סולאריות גם בשעות הערב, שבהן קיימת דרישת שיא.

מחיר הסוללות יורד ככל שהייצור והשימוש בהן עולה, לכן הסוללות מהוות את שיטת אגירת האנרגיה המועדפת לתעשיית הרכבים החשמליים, למשל. בסוללות אלו משתמשים במגוון רחב של יישומי אגירת אנרגיה, החל מסוללות של מספר 65kWh , סוללות המיועדות לבתים ומבני מגורים עם מערכים פוטו-וולטאיים על הגג (European Commission, 2017) ועד סוללות של מגה-וואט רבים (multi-MW) לצורך אספקת שירותים נלווים לרשת החשמל. יחד עם זאת, כיום מדובר בעיקר על סוללות בעלות יכולת אגירה לטווח קצר (כ-4 שעות), יכולת שאינה מספיקה לתמיכה באגירת אנרגיה מתחדשת בהיקפים גדולים.

מספר חברות מחקר בדקו את פוטנציאל השוק של סוללות ליתיום-יון, לדוגמה, על פי Motor Intelligence נתח השוק של סוללות ליתיום-יון צפוי לגדול בצמיחה שנתית ממוצעת של 22.58% בין השנים 2020-2025 (Motor Intelligence, 2019). ב-BloombergNEF צופים שהביקוש העולמי לסוללות ליתיום-יון יעלה על 2,000GWh עד 2030 (BloombergNEF, 2019). על פי Statista, שוק סוללות הליתיום-יון צפוי להגיע ל-100.4 מיליארד דולר עד 2025 לעומת גדול השוק ב-2017 שעמד על 30.2 מיליארד דולר (Statista, 2019). ה-BCC מצא שהשוק העולמי של סוללות ליתיום הוערך ב-22.7 מיליארד דולר בשוק הסיטונאי ב-2018 וצפוי לגדול ל-47.36 מיליארד דולר ב-2023, עם צמיחה שנתית של 15.8% (BCC, 2019). השוק העולמי צפוי לגדול בעיקר כתוצאה מהגידול בתחבורה ובעיקר ממכוניות חשמליות וכן ממחשוב ומכשירים ניידים. הזינוק בביקוש למכוניות חשמליות ניזון בחלקו מהירידה בעלויות של סוללות ליתיום-יון. ליתיום וקובלט

הם מרכיבים חיוניים בסוללות למכוניות חשמליות וסוללות ליתיום-יון תלויות בקובלט (מכילות 42% קובלט). הצמיחה בדרישה לסוללות נטענות הניעה את המחירים של חומרי גלם אלו והולידה חששות לגבי מחסור בקובלט וליתיום שעלולים להאט את תכנית הפעלת כלי הרכב החשמליים. בין ספטמבר 2016 ליולי 2018 היתה עלייה חסרת תקדים במחיר הקובלט ונמדדה עליה של 150% בעוד שהיקף היצור של קובלט לא עמד בדרישה זו. ב- 2016 יותר מ- 50% מהאספקה העולמית של קובלט הגיעה הרפובליקה הדמוקרטית של קונגו והדרישה הגוברת הביאה לכניסה של שחקנים נוספים לכרייה ואספקה של קובלט (World Economic Forum, 2018; Bold Business, 2018; Reuters, 2019).

דוגמאות לכמות הקובלט הנדרשת ביישומים השונים: חברת Apple החברה מכרה ב- 2017 כ- 216 מיליון מכשירי אייפון. כמות זו מקבילה ליותר מ- 1,030 טון מטרי (1 טון מטרי=1000 ק"ג) של קובלט. חברת Tesla מכרה יותר מ- 103 אלף מכוניות ב- 2017, כמות המקבילה ל- 2,300 טון של קובלט. ב- 2016 נמכרו כ- 156 מיליון מחשבים ניידים וכ- 175 מיליון טאבלטים, כמות המקבילה לכ- 21 אלף טון מטרי של קובלט (Bold Business, 2018).

יחד עם הצפי לצמיחה בשימוש סוללות ליתיום-יון, בשנה האחרונה השוק הראה סימני משבר בחומרי הגלם לייצור הסוללות. מאז מארס 2018 נמדדה צניחה במחירי הקובלט כך שמתכת זו איבדה כ- 70% מערכה. מספר גורמים משמעותיים עומדים מאחורי קריסה זו. הגורם המשמעותי ביותר הוא ששיעורי הצמיחה לסקטור המכוניות החשמליות פשוט לא הצליחו לעמוד בהתלהבות הראשונית. עצירה בעליית מחירי הדלק עצרה את הצמיחה במחירי הקובלט. כניסה של ספקים חדשים והגדלת כמות הקובלט המוזרם לשוק הובילה אף היא להורדת מחירים. בנוסף, חברת Tesla הצליחה להוריד את כמות הקובלט בסוללה (תוך הגדלת כמות הניקל) והובילה לדור חדש של סוללות עם כמות קטנה יותר של קובלט. למרות זאת, רבים מאמינים כי מחיר הקובלט יתאושש כמו גם הדרישה לקובלט בשנים הבאות (International banker, 2019).

מספר חברות בארץ פועלות לפיתוח של הדור הבא של סוללות ליתיום-יון, למשל, חברת UltraCharge⁸⁰ מפתחת טכנולוגיה לשיפור סוללות ליתיום-יון באמצעות החלפת הגרפיט באנודה בחומר גל' בננו-צינורית (nanotube) העשוי מטיטניום דו-חמצני (Titanium dioxide). השיטה הופכת את חלקיקי הטיטניום הדו-חמצני לננו-צינורות מיקרוניים (ארוכים), תהליך העוזר להאיץ את התגובות הכימיות המתרחשות בסוללה ומאפשר טעינה מהירה, צפיפות אנרגיה משופרת והידרדרות איטית יותר של הסוללה. דוגמא נוספת היא חברת 813DBattery⁸¹ המפתחת טכנולוגיה לשיפור הביצועים והמחיר של סוללות ליתיום-יון הניתנות לטעינה מחדש באמצעות גמישות בצורה ובגודל, יכולות אנרגיה וחשמל גבוהים ושימוש בטוח בסוללה.

טכנולוגיית הדור הבא של סוללות ליתיום-יון הן **Solid-state Batteries** - סוללות מצב-מוצק. יש המתייחסים לסוללה זו כ"יורשת" של סוללות יון-ליתיום המסורתית. כלומר, הסוללה פועלת באמצעות אלקטרוליט מוצק שאינו דליק (במקום אלקטרוליט נוזלי או פולימרי) המאפשר לסוללה להיות בעלת צפיפות אנרגיה גבוהה ובעלת עמידות גבוהה יותר. שיפור צפיפות האנרגיה הוא משמעותי, מה שהופך את הגרסאות המסחריות של הסוללות הללו לקטנות יותר וזולות יותר (Navigant Research, 2019).

flow batteries - סוללות זרימה מבוססות ברום שאוגרות אנרגיה אלקטרו-כימית. היתרון שיש לסוללות הזרימה על פני סוללות הליתיום-יון הוא שעל מנת להגדיל את הקיבולת מגדילים את המכלים. סוללות אלו מתאימות ליישומי אגירת אנרגיה עם דירוג הספק הנע מעשרות קילוואט לשעה לעשרות מגוואט לשעה. סוללות אלו יכולות להוות את הבחירה הכלכלית העדיפה, היות ואגירה במכלים היא קלה וחסכונית (GTM Research, 2019). השימוש בסוללות אלו מתאים ליישומי אגירה לרשת החשמל. במעבדת Laboratory for Energy & Environmental Innovations בפקולטה להנדסת מכונות בטכניון⁸² עוסקים, בין היתר, בפיתוח מערכות אלקטרו-כימיות של הדור הבא כגון סוללות flow.

Aluminum-Air battery - אגירת אנרגיה באמצעות סוללת אלומיניום-אוויר. סוללה זו נחשבת כמועמדת אטרקטיבית לשמש ברכבים חשמליים בשל היכולת לצפיפות אנרגיה גבוהה. בעיות טכניות ומדעיות עדיין מונעות פיתוח בקנה מידה גדול, כמו טעינת הסוללה (Liu et al., 2017). מספר חברות ישראליות מפתחות

⁸⁰ <http://www.ultra-charge.net/>

⁸¹ <https://www.3dbattery.co.il/>

⁸² <https://suss.net.technion.ac.il/>

סוללות אלומיניום-אוויר, למשל, חברת Phinergy⁸³ מייצרת אנרגיה משילוב של אלומיניום, חמצן ומים כמקור חדש לאנרגיה נקיה. דוגמא נוספת היא חברת InEnSto⁸⁴ המפתחת סוללת אלומיניום-אוויר המאפשרת צפיפות אנרגיה פורצת דרך, קלה מאוד מבחינת המשקל, ידידותית לסביבה, שעלות הייצור שלה נמוכה ואורך החיים שלה גדול.

סוללות קוונטיות Quantum battery - יחד עם ההתקדמות המשמעותית בטכנולוגיות של סוללות המבוססות על עקרונות עבודה אלקטרוכימיים קלאסיים, התפתח כיוון נוסף של סוללות קוונטיות, שפעילותן נשענת על עקרונות עבודה מכניים קוונטיים. הטכנולוגיה נמצאת עדיין בשלב ההתחלתי ובעלת פוטנציאל להפוך בעתיד לטכנולוגיה דומיננטית⁸⁵. כלומר, סוללות העושות שימוש במכניקת הקוונטים על מנת לשפר את היעילות להפקת אנרגיה ממאגרי הטעינה שלהן (phys.org, 2018). הסוללה קוונטית היא סוללה זעירה בגודל ננו המיועדת עבור שימושים ביישומים בקנה מידה ננו (Liu, Segal & Hanna, 2019) והיא מהווה מרכיב חשוב במכשירים קוונטיים רבים כגון מחשבים קוואנטיים. הטכנולוגיות המשמשות לבנייתן הן טכנולוגיות קיימות של מצב-מוצק (solid-state). התקנים חזקים קוונטיים לאגירת אנרגיה חיוניים למימוש סוללות עוצמתיות מהדור הבא וסוללות קוונטיות בעלות יכולת טעינה מהירה עונות על דרישה זו (Andolina et al., 2019).

מחקרים שונים ברחבי העולם מבקשים לפתח סוללה ליישומים מעשיים עם יכולת של טעינה מהירה ואגירת אנרגיה לזמן גדול יותר. במחקר שפורסם ב-2018, החוקרים הדגימו מהירות קוונטית בזמן הטעינה של סוללות קוונטיות באמצעות מודל פשוט ויישומי המנצל את חוקי המכניקה הקוונטית. המודל כולל מערך של התקני מצב-מוצק עם שתי רמות אנרגיה מובחנות. החוקרים השוו את המערכת למכשירים דומים דו-מפלסיים שכל אחד מהם פועל באופן עצמאי. הם מראים שמערך סבוך מגביר את כוח הטעינה ומפחית את זמן הטעינה יחסית לטעינה של יחידות האחסון העצמאיות, הנטענות כל אחת בנפרד ובמקביל. על פי המחקר, מודל זה אמור להוביל לפתרון של שקלול התמורות (tradeoff) בין כוח הטעינה של הסוללה הקוונטית לכושר אגירת האנרגיה שלה (Ferraro et al., 2018). לאחרונה פרסמו חוקרים מאוניברסיטת אלברטה בקנדה⁸⁶ פיתחו מודל (blueprint) לסוללה קוונטית חדשה שהטעינה בה לא דולפת. במחקרים קודמים, למרות שהוקדשו מאמצים רבים לעצב אסטרטגיות שימקסמו את האנרגיה המאוחסנת בסוללה הקוונטית ואת כוח הטעינה הממוצע שלה, המודלים המיקרוסקופיים התבססו בעיקר על מערכות קוונטיות סגורות. החידוש במחקר זה היא ההבנה שבלתי נמנע שהמערכת הקוונטית תתקשר עם הסביבה הסובבת אותה ולכן תסבול מתהליכים של חוסר קוהרנטיות ושל פיזור. לתהליכים אלו השפעות מזיקות על הקוהרנטיות הקוונטית של המערכת ועל המתאמים הקוונטיים, המהווים משאבים קריטיים עבור סוללות קוונטיות. מבחינה מעשית, יש לשקול סוללה קוונטית טעונה בשלב האגירה כמערכת קוונטית פתוחה. כדי להשיג אגירת אנרגיה לאורך זמן בסוללות קוונטיות יש לתכנן סוללות קוונטיות עמידות בפני חוסר קוהרנטיות ואובדן אנרגיה לאורך זמן. המחקר מציע יתרון על סוללות קוואנטיות קודמות. המחקר מדגים באופן תיאורטי סוללה קוואנטית אקסיטונית (excitonic) ללא הפסדי אנרגיה (loss-free excitonic quantum battery) הניתנת לטעינה על ידי עירור האלקטרונים שלה באמצעות אור. יכולתה של הסוללה לאגור אנרגיה ללא הגבלת זמן וללא דליפה של אנרגיה היא יכולת קריטית לסוללה קוונטית. באמצעות המודל החוקרים הראו שניתן לאגור אנרגיה בסוללה קוונטית החסינה בפני הפסדי אנרגיה, למרות שהוא פתוח לסביבה (Liu, Segal & Hanna, 2019).

צפי קצב הצמיחה בשוק הגלובלי בתחום הסוללות הקוונטיות בשנים 2018-2023 הוא 24.78% (Research and Markets, 2018). שחקנים מעטים בשוק כיום העוסקים בייצור ומכירות של סוללות קוונטיות. רבים מהם נמצאים בשלב המחקר. תעשיית האלקטרוניקה הצומחת והמחשוב הקוונטי יגבירו את צמיחת שוק הסוללות הקוונטיות העולמיות בתקופה זו. ארצות הברית צפויה להציג נתח שוק משמעותי בתחום זה (Research and Markets, 2018).

⁸³ <http://www.phinergy.com/>

⁸⁴ <https://www.linkedin.com/company/inensto/>

⁸⁶ <https://www.ualberta.ca/index.html>

⁸⁵ מתוך הריאיון עם עופר גולדהירש

7.3 פיתוח טכנולוגי של קבלי על (Supercapacitors) לאגירת אנרגיה

טכנולוגיה חדשנית לאגירת אנרגיה שפיתוחה מואץ הודות להתקדמות בטכנולוגיות הננו-חומרים, חשמול התשתיות והתעשייה והחששות הגוברים סביב השימוש הדלק. חלק גדול מהמחקר בנושא זה מבקש לשפר את מדדי הביצועים כגון מחזורי טעינה-פריקה, התנגדות להעברת טעינה, תדירות התגובה, מזער חומרים ועוד (Afif et al., 2019; Raza et al., 2018).

סוגים של קבלי על

קבלים בעלי שכבה כפולה חשמלית (EDLC - electric double-layer capacitor) נחשבים למקור אנרגיה בעצמות גבוהה ומשמשים להתקני תקשורת דיגיטליים ומכונות חשמליות (Afif et al., 2019).

Pseudocapacitor - סוג של קבלי על המורכבים משתי אלקטרודות המופרדות באמצעות אלקטרוליט. המחקרים בסוג זה של קבלי על מבקשים לזהות אילו תכונות של חומרים ותכונות אלקטרוכימיות יכולות להביא לצפיפות אנרגיה גבוהה בשיעורי טעינה-פריקה מהירים (Afif et al., 2019).

קבלי על היברידיים (Hybrid supercapacitor) – בקבלים אלו, במקום להשתמש בגרפן (graphene), תחמוצות מתכת (metal oxides) ופולימרים באופן נפרד, משלבים אותם על מנת לקבל מוליכות חשמלית טובה, גמישות מכנית ויציבות כימית. בשנים האחרונות המחקר התמקד בפיתוח קבלים אלקטרוכימיים היברידיים כך שיהפכו למקור החשמל העיקרי למכונות חשמליות הפועלות ללא הפרעה (Afif et al., 2019).

יתרונות וחסרונות בשימושים של קבלי על (Electronicsforu.com, 2019; Afif et al., 2019):

- היות ולא מתרחשת תגובה כימית (כמו בסוללות), משך החיים של טעינה-פריקה של קבלי העל הוא כמעט לא מוגבל.
- לקבלי העל עומת חשמל גבוהה מאשר לסוללות אבל צפיפות אנרגיה נמוכה.
- קבלי העל נטענים במהירות, מספקים כוח בזמן שיא וכוח גיבוי, בעלי צפיפות הספק גבוהה ויכולים לספק פרץ כוח גדול למשך זמן קצר, אגירה של אנרגיה ואיזון מקור כאשר משתמשים בו בקוצרי אנרגיה.
- לקבלי העל יש צורך במעט מאוד מיקום פיזי, הם קלים וקטנים, לכן זהו אחסון חסכוני ועומד בתקנים סביבתיים. חיי המדף שלהם ארוכים בהשוואה לסוללות.
- קבלי העל הם בעלי פריקה עצמית גבוהה בהשוואה לסוללות אלקטרוכימיות ואינם תומכים ביישומי זרם חילופין.
- קבלי העל משמשים ליישומים עם עומסים משתנים כמו מחשבים ניידים, מכשירי GPS, מערכות פוטו-וולטאיות ומכשירים ניידים.
- השימוש של קבלי העל מפתח ליישומים כמו ציוד בהספק נמוך, מאגר חשמל, מייצב מתחים והתקני אגירת אנרגיה זמניים למערכות קצירת אנרגיה ועוד.
- מאפייני הביצועים של קבלי העל מתאימים ליישומים הדורשים מספר גבוה של מחזורי טעינה ופריקה מהירים ולמערכות המיישמות הטמעת אנרגיה, כמו רכבים היברידיים-חשמליים, טורבינות רוח, רכבות, אלקטרוניקה צרכנית ומערכות רשת חשמל.
- שימוש בחומר פחמן פעיל מגדיל את ערך הקיבול (את היכולת של מערכת לאגור מטען חשמלי), כך שלקבלי העל יש יכולת אגירת אנרגיה גבוהה בהשוואה לקבלים וסוללות אלקטרוכימיים.

קבלי על לעומת סוללות:

ההשוואה בין קבלי על לסוללות מתחילה במחיר. אף על פי ששתי הטכנולוגיות אינן דומות לחלוטין, משתמשי הקצה מצפים כי המחיר של קבלי העל יהיה דומה למחיר של סוללת lead-acid, אך קבלי העל לא הצליחו להשיג את היתרון לגודל הנחוץ להפחתה דרסטית במחירים (IDTechEx, 2019).

באופן כללי, לסוללות יש צפיפות אנרגיה גבוהה יותר מקבלים רגילים שלהם יכולות טעינה-פריקה מהירות יותר. לקבלי העל, לעומת זאת, יעילות גבוהה באגירת אנרגיה ואורך חיים ארוך יותר, עד פי 100 מסוללות. קבלי העל אוגרים אנרגיה בשדה אלקטרי ולא כתגובה כימית כמו בסוללות, מה שמאפשר להם לטעון ולפרוק מהר יותר מאשר סוללות. תגובות כימיות יכולות ליצור בעיות, כולל הפחתה בקיבולת הסוללה במשך הזמן ולעתים חום רב מדי העלול לפרק את הסוללה ולהוביל לבריחה תרמית. אגירת אנרגיה באמצעות קבלי על פשוטה הרבה יותר. הטכנולוגיה אוגרת אנרגיה על פני השטח של האלקטרוליט, כלומר אין תגובה כימית. אנרגיה חשמלית נכנסת ונשמרת כאנרגיה חשמלית. קבלי העל יכולים לשרוד יותר ממיליון מחזורים של טעינה ופריקה. לקבלי העל התנגדות פנימית קטנה מאוד המאפשרת להם לעבוד ביעילות הקרובה ל-100%. קבלי העל גם קלים משמעותית חסית לסוללות ובדרך כלל אינם מכילים כימיקלים מזיקים או מתכות רעילות. קבלי העל הינם פועלים היטב יחד עם סוללות ליתיום-יון וטכנולוגיות אגירת אנרגיה בצפיפות גבוהה אחרות. לקבלי העל צפיפות חשמל גדולה פי 60 מצפיפות הסוללות, לכן ניתן לחבר אותם במקביל ליצירת יחידות אספקת חשמל משולבות. היות והם מאזנים את העומס, קבלי העל יכולים להרחיב את חיי הסוללה ולשפר את הבטיחות שלה. במכוניות חשמליות, למשל, קבלי העל יכולים לספק את החשמל הדרוש לתאוצה, בעוד שהסוללה מספקת טווח ומטעינה מחדש את הקבל בין התנועות (Affif et al., 2019; Skeletontech.com; Microgrid Knowledge, 2019; IDTechEx, 2019).

בעתיד, ניתן יהיה להשתמש בקבלי העל בצירוף עם סוללות או שהם יחליפו את הסוללות במערכות האגירה (Affif et al., 2019). כיום ניתנת חשיבות דומה הן לסוללות והן לקבלי על עבור מערכות אגירת אנרגיה על ידי משרד האנרגיה של ארה"ב (U.S. Energy Department). קבלי העל משמשים ליישומים הדורשים מחזורי טעינה-פריקה מהירים מאשר לאגירת אנרגיה המתאימה למרחב מצומצם לטווח ארוך למשל, במכוניות, אוטובוסים, רכבות, מנופים ומעליות, אגירת אנרגיה לטווח קצר או לאספקת חשמל מתפרצת (Affif et al., 2019).

בראש יישומי אגירת אנרגיה משתמשים בקבלי על להגדיל את היעילות של מכוניות חשמליות היברידיים במספר דרכים. היום, מכוניות חשמליות מכבות את המנוע לחלוטין כאשר הרכב עוצר, גם אם לזמן קצר מאוד, ולאחר מכן מניעות אותו מחדש תוך שימוש באנרגיה האגורה בקבלי העל. כאשר משווים את קבלי העל לסוללות, קבלי העל מסוגלים לספק דרישות הספק כוח בשיא התאוצה באריזה קלה יותר המקזזת את הצורך במסה נוספת של סוללה. ניתן לספק כל קילו-וואט נוסף נדרש באמצעות קבל על באריזה הקלה פי 10-20 מסוללת ליתיום. בנוסף, בתנאים המנוגדים של בלימה מתחדשת, בה ניתן להפיק זרמי שיא גדולים במיוחד על ידי המנוע, קבלי העל יכולים לתפוס ולאגור בצורה יעילה יותר את האנרגיה מה שמוביל לשיפור ביעילות הכוללת של המערכת כולה (Horn et al., 2019). טכנולוגית ה-Supercapacitors, המאפשרת יצירת זרם התנעה חזק בנפח יחסית קטן, היא טכנולוגיה מתפתחת המאפשרת החלפת חלק מהמצברים ברכבים כבדים⁷¹.

למשל, חברת Maxwell Technologies⁸⁷ העולמית מציעה שורה של מודולים המבוססים על קבלי על ליישומים היברידיים של "לעצור-להניע". כמו כן החברה עיצבה תחליף לסוללה קונבנציונלית לרכבים באמצעות שימוש בקבלי על המחברים על פני סוללת lead acid. תפיסה זו מפחיתה את האנרגיה הכללית שהסוללה יכולה להפיק. הסוללות מחזיקות מעמד זמן רב יותר כאשר הפריקה היא קטנה ויציבה וקבלי העל מחליקות את דרישות האנרגיה מהסוללה.

הודות ליכולת של טעינה מהירה ויציבות בטמפרטורה, קבלי העל מחליפים את הסוללות המסורתיות של מכוניות. בנוסף, קבלי העל גמישים יותר מסוללות ומהווים מגמה מתהווה בשוק לאספקת חשמל יציבה ליישומים כמו GPS, נגי מדיה ניידים, מחשבים ניידים, טלפונים ניידים וכו'. מדענים ממשכים לחפש אחר יישומים וחומרים חדשים לקבלי על. היישומים הקיימים היום כוללים את תעשיית המכוניות, מערכות תחבורה היברידיים, ייצוב רשת החשמל ומערכת הרכבות. יישום נוסף שכבר נכנס לשימוש הוא שילוב של קבלי על עם תאי דלק למיקסום אגירת אנרגיה ויכולות טעינה. לאחרונה, מדענים באוניברסיטת UCLA בארה"ב⁸⁸ פיתחו מערכת לאגירת אנרגיה ביולוגית הנקראת קבלי על ביולוגיים הפועל באמצעות חלקיקים טעונים, או יונים, מנוזלים בגוף האדם. החוקרים מיעדים את קבלי העל הביולוגיים לשימוש כקוצבי לב והתקנים רפואיים

⁸⁷ <https://www.maxwell.com/>

⁸⁸ <https://uconn.edu/>

הניתנים להשתלה. בשנים הבאות, קבלי העל כנראה יישמשו בכל מקום ביישומים שונים בתעשייה, כגון מוצרים אלקטרוניים לצרכן וקבלי על סולריים. (Affif et al., 2019; IDTechEx, 2019).

הדרישה הגוברת לפתרונות עבור אנרגיות מתחדשות מניעה את השוק. קבלי העל הם טכנולוגיה מתפתחת עבור מערכות אגירת אנרגיה שונות, מכיוון שהם בעלי צפיפות הספק גבוהה יותר מאשר סוללות וצפיפות אנרגיה גבוהה יותר מאשר קבליים מסורתיים. פנלים סולאריים PV ותאורה סולארית הם תחומים בהם יש צמיחה של שימוש בקבלי על. בנוסף, ההשפעה על הסביבה של גזי החממה מניעה את הגדלת הייצור של רכבים מבוססים על קבלי על. מבין כל התקני אגירת אנרגיה, קבלי העל גורמים לנזק הסביבתי הקטן ביותר. (IDTechEx, 2019).

בארץ, חברת PO-Celltech⁸⁹ (נקראה בעבר Elbit Energy Systems) מפתחת טכנולוגיות חדישות לייצור המוני של תאי דלק בעלות נמוכה וקבלי על העומדים בתקנים הנדרשים לרכבים.

פוטנציאל שוק

מחקרי שוק מצביעים על עתיד מבטיח לטכנולוגית קבלי העל. על פי מחקר שוק שנערך על ידי Markets And Markets ב-2016, שוק קבלי על צפוי להגיע ל-2.18 מיליארד דולר עד 2022 עם שיעור צמיחה שנתי של 20.7% בין השנים 2016-2022 (Markets And Markets, 2016).

מחקר שוק נוסף של Research and Markets מ-2018 צופה שהשוק הגלובלי המוערך בכ-828 מיליון דולר ב-2017 צפוי להגיע לכ-4,984 מיליון דולר ב-2026, עם קצב צמיחה שנתי של 22.1%. בתקופה זו צפויה עליה בשימוש של קבלי על ביישומים לקצירת אנרגיה, תחבורה וקיבולת אגירת אנרגיה גבוהה. (Research And Markets, 2018).

מחקר שוק שנערך ב-2019 העריך כי השוק הגלובלי של קבלי על נאמד ב-685 מיליון דולר ב-2018 וצפוי להגיע ל-2,187 מיליון דולר ב-2024 עם שיעור צמיחה שנתי של 21.8% (IDTechEx, 2019).

7.4 אגירת אנרגית מימן

אגירה של מימן היא סקטור צומח המשפיע על הצריכה העתידית של מימן למטרות מסחר, בעיקר לשוק הרכבים (יחידות אספקת דלק על רכבים - vehicle on-board fuel supplies) ואגירה לאספקת חשמל תקופתית. האתגר בתכנון מערכות אגירה של מימן, במיוחד ליישומים ניידים כמו כלי רכב, הוא לאגור מספיק מימן לזמן הפעלה נאות, עם משקל, טמפרטורה, לחץ ומאפיינים אחרים שהופכים את המימן למעשי ביישומים אלו (Bcc Research, 2018).

קיימות מספר שיטות לאגירת של מימן כאשר הנפוצה ביותר היא דחיסה של מימן באמצעות הפעלת לחץ בצילינדרים מפלדה. ניתן לדחוס ולאגור מימן בצילינדרים מפלדה בלחצים של עד 200 בר. הדחיסה משמשת הן לאחסון נייד והן להובלת מימן. הבעיה בשיטה זו שהצפיפות הנפחית של האנרגיה נמוכה. שיטות נוספות הן מכלים בלחץ נמוך, אגירה תת קרקעית, אגירה מבוססת אמוניה ומכלים קריוגניים (National Hydrogen Roadmap, 2018; Bcc Research, 2018).

נסקור שתי שיטות מתפתחות עתידיות לאגירת אנרגיה של מימן: נשאי מימן אורגניים נוזליים (למשל toluene) והידרידים ממתכת (Metal Hydrides).

נשאי מימן אורגניים נוזליים: באמצעות הידרוגנציה (hydrogenation - הוספת מימן) הנוזלים האורגניים מועמסים יחד עם המימן ולאחר מכן עוברים תהליך של התייבשות באמצעות חום או קטליזה. השיטה מאפשרת אגירה והובלה של מימן כנוזל בטמפרטורת הסביבה ולחץ של מעל 6% מהמשקל. לאחר התייבשות, ניתן להשתמש בנוזל האורגני מחדש. ה-toluene, למשל, הוא נשא הנבחן למטרת אגירה והובלה של מימן בקנה מידה גדול (National Hydrogen Roadmap, 2018).

⁸⁹ <https://www.linkedin.com/company/pocelltech/about/>

דוגמאות לחברות בארץ העוסקות באגירה של מימן בצורה הנוזלית: חברת H2 Energy⁹⁰ פיתחה שיטה לאגירה ולגידול השימוש של מימן ליישומים מסחריים או לבתים. הטכנולוגיה מתוכננת להפחית את עלות ייצור המימן עם אפס פליטה באמצעות שימוש בחומרים זולים ויעילים. החברה משתמשת בגלים אלקטרומגנטיים כדי להפריד המולקולות למימן וחמצן. לאחר ההפרדה ניתן לאגור את המימן בצורה נוזלית מה שמאפשר למשתמשים להמיר אותו באמצעות תא דלק מימן-חמצן כאשר הם צריכים חשמל. חברה נוספת היא חברת Electriq~Global⁹¹ המפתחת דלק המורכב מ-60% מים. הטכנולוגיה מחלצת מימן מדלק נוזלי עבור יצירת חשמל לרכבים חשמליים.

הידרידים ממתכת: הידרידים מתכתיים הם מתכות הנקשרות למימן ליצירת תרכובת חדשה. הם ידועים זה מכבר כנושאי מימן, אך אי התאמתם ליישומי נייודת הגבילה את השימוש בהם. הבעיות בשינוע נובעות בעיקר מדרישות טמפרטורה, משקלן של יחידות האחסון ושחרור איטי של המימן. נכון לעכשיו, הידרידי מתכות נבחנים לשימוש ביישומי נישה (National Hydrogen Roadmap, 2018). למשל, באזורים בהם התרחשו אסונות טבע, מערכת תא דלק הכוללת אגירה של מתכת הידרידית עמידה יותר בפני נזק מאשר סוללת ליתיום או מיכל מימן בלחץ. השחרור האיטי והעקבי של מימן על ידי הידרידים ממתכת מהווה יתרון נוסף כאשר יש צורך בדרישות חשמל נמוכות לאורך זמן, כמו ציוד רפואי באזורים מרוחקים. יישומים צבאיים מהווים נישה נוספת של שימוש בהידרידי מתכת. למשל, העברת דיזל לאזורי מלחמה היא בעייתית ומערכות לאגירת אנרגיה מימן מתאימות יותר (National Hydrogen Roadmap, 2018).

להלן נסקור ארבע מגמות עולמיות הנוגעות לאגירת אנרגיה, אשר בהן ניתן להרוויח מהידע המצטבר של ישראל בתחומי אנרגיות מתחדשות ואגירת אנרגיה לאור הצפי להתפתחות משמעותית של התחום בשנים הקרובות.

7.5 אנרגיה סולארית פוטו-וולטאית (PV) בשילוב אגירת אנרגיה

תחנות כוח סולאריות אינן אוגרות את אור השמש, אלא לוכדות את החום הנוצר מאור השמש ומשתמשות בו כדי לחמם מאגר אחסון כגון מלח או סיליקון. מאוחר יותר, חום זה משמש לחימום מים כדי לייצר קיטור המשמש לייצור חשמל בדרכים קונבנציונליות הקיימות כיום (GET.invest, 2019). האנרגיה הסולארית עדיין רחוקה ממיצוי הפוטנציאל הרחב שלה. היצור העולמי של אנרגיה סולארית היה פחות מ-3% בסוף 2018 (Global Market Insights Inc., 2018). הירידה הדרמטית במחירן של מערכות פוטו-וולטאיות בעשור האחרון, ממחיר ממוצע של 350 דולר למגה-וואט-שעה בשנת 2009 עד למחיר ממוצע של פחות מ-50 דולר בשנת 2018, הביאה לשינוי מהותי ביותר בתחום ייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות, אך מערכות אלו יהיו כדאיות רק במידה ויהיה ניתן להשתמש במערכות בתקופות שבהן התעריפים לרכישת חשמל מהרשת הינם גבוהים (למשל, בשעות הערב). כלומר, לצורך שימוש יעיל באנרגיה סולארית, יש לתמוך בה באמצעות מערכות לאגירת אנרגיה. השילוב של מערכות סולאריות ומערכות לאגירת אנרגיה ברשת החשמל יאפשר הורדת מחירים, רזרבה לכושר הייצור, ניהול עומסים ועוד (פורום אנרגיה, 2019). בארה"ב, למשל, זיהו את הפוטנציאל וקצב הגידול בהקמת מתקנים של אנרגיה מתחדשת גבוה יותר מקצב הגידול של תחנות פחם. לפי המכון לכלכלת אנרגיה וניתוח פיננסי (IEEFA), ההשקעות בטכנולוגיות של ייצור אנרגיה מתחדשת, בהובלת אנרגיה סולארית ורוח בארה"ב הגיעו בשנת 2018 ל-64.2 מיליארד דולר. תעשיות החשמל הסולארי בארה"ב הגדירו יעד לאומי של 20% אנרגיה סולארית עד 2030 (GTM Research, 2019).

הטכנולוגיה המקובלת בעולם לאגירת אנרגיה סולארית היא באמצעות סוללות ליתיום-יון. סקר מחירים שנערך על ידי בלומברג (Bloomberg, 2019) הראה שמחירי סוללת הליתיום-יון ירדו ב-85% בשנים 2010-2018 והגיעו למחיר ממוצע של 176 דולר לקוט"ש. הצפי הוא שמחיר הסוללה ירד עד לכ-94 דולר לקוט"ש עד 2024 ולכ-62 דולר לקוט"ש עד 2030. אגירת אנרגיה סולארית באמצעות סוללות יכולה להחליף את הצורך בבניית פיקרים (מתקני ייצור) חדשים ולכן גם להימנע מהקמה של תחנות שעובדות רק מספר שעות בשנה. אגירה של 4 שעות ביום בסוללות שצמודות לתחנות סולאריות יכולה לתת את המענה לכך (פורום אנרגיה, 2019). חברת Tesla יישמה את הרעיון ובנתה בשנת 2018 תחנת אגירה המבוססת על

⁹⁰ <https://www.h2energynow.com/>

⁹¹ <https://www.electriq.com/>

סוללת הליתיום הגדולה בעולם בדרום אוסטרליה. מאז בנייתו, מתקן זה חסך כ- 40 מיליון דולר בשנה הראשונה לעבודתו ועזר לייצב ולאזן את רשת החשמל האזורית⁹².

טכנולוגיה פוטו-וולטאית נוספת היא אנרגיה פוטו-וולטאית אורגנית (OPV-Organic PV), כלומר, אנרגית PV מחומרים אורגניים. הטכנולוגיה מיועדת לשמש במיוחד בבנייני מגורים. תאים אלו משתמשים בחומרים סופגים, מולקולריים או פולימריים (U.S. Energy Department, 2019). אחת השיטות להפקת אנרגיה פוטו-וולטאית מחומרים אורגניים היא באמצעות צביעת חלונות / פאנלים כך שיהפכו לקולטים⁷¹. במחקר שפורסם השנה מתארים כי החומרים האורגניים באנרגיה מבוססת צבע יכולים להתמוסס לנוזל. כאשר משיגים מטרה זו יש "דלי" של חומר מוליך אלקטרוני המוכן לשימוש על כל סוגי המשטחים. ללוח סולרי יש שלוש שכבות, שתי שכבות של אלקטרודות ושכבה אחת מוליכה למחצה. מכיוון שחומרים אורגניים מאפשרים להמיסם ניתן לחוות אותם על מנת לרתום אנרגיה. המחקר יאפשר לאנשים לייצר פאנלים סולאריים באמצעות מדפסת (או לצבוע אחד על הקיר באמצעות צבע מיוחד) באמצעות חומר קל יותר לייצור וזול יותר מסיליקון (Kafle et al., 2019; Inverse, 2019). שיטה זו תאפשר יצור מאסיבי, זול ויעיל של אנרגיה חשמלית מאור השמש. היעילות כיום של תאי ה- OPV נמוכה מה- PV אך הדרך המחקרית פתוחה לשיפורים רבים בתחום הכוללים יעילות, צורת השימוש (למשל צביעה של חלונות או קירות) ועוד⁷¹.

7.6 אגירת אנרגיה במבנים ולצריכה עצמית - Residential Energy Storage

לפוטנציאל של אגירת אנרגיה למגורים ולצריכה עצמית יש מספר יתרונות (iea, 2019): הגדלת היעילות והאמינות של רשת החשמל, אופטימיזציה של זרימת החשמל ותמיכה באספקת חשמל משתנה מייצור רוח ושמש; הגדלת השימוש ברכבים הממונעים באמצעות סוללות או טכנולוגיות חשמליות אחרות (במקום שריפת הבנזין וסולר והפחתת הפליטות הנלוות והביקוש לנפט); טכנולוגיות מתקדמות המביאות להוזלת עלויות, ועלייה בהשקעות באנרגיה נקייה גלובלית. השוק הגלובלי של אגירת אנרגיה למגורים צמח מ- 2.5 מיליארד דולר ב- 2017 ל- 3 מיליארד דולר ב- 2018, עם שיעור צמיחה של 22% (BCC, 2019). השוק מונע על ידי מספר גורמים: שיטת (FIT) feed-in tariff (אנרגיה סולארית המוזנת לרשת החשמל בתעריף קבוע), שיטת net metering (קניית אנרגיה עודפת מהצרכנים על ידי חברת החשמל, חברת החשמל מקזזת את הייצור העצמי באנרגיה סולארית מצריכת החשמל מהרשת), סובסידיות ותמריצי מס, הפחתה משמעותית בעלויות סוללות ליתיום-יון המיועדות לאגירה ועלייה בתעריפי החשמל. השוק הגדול ביותר הוא של סוללת אגירה ליתיום-יון ומגמה זו אינה צפויה לרדת עד 2023. מחירי הסוללות ממשיכים לצנוח דבר שמוביל לאטרקטיביות של אגירה באמצעות סוללות של חשמל מתחדש בבתי מגורים ובבתי עסק. לכן סוללה זו ממשיכה להיות הנפוצה ביותר לשימוש של אגירת אנרגיה במבנים ותופסת כ- 85% מקיבולת השימוש (iea, 2019; BCC, 2019).

שיטה נוספת לאגירת אנרגיה למגורים היא באמצעות אגירת אנרגיה תרמית: מערכות לאגירת אנרגיה תרמית מותקנות יותר ויותר בבניינים ומשמשות כמערכות אגירת אנרגיה מתקדמות. המערכות מסייעות לאזן את אספקת האנרגיה והדרישה היומית, השבועית והעונתית. לדוגמה, חברת Nostromo Energy⁹³ מפתחת את מערכת לאגירת אנרגית קור ללא שימוש בחומרים רעילים או נדירים. המערכת משתמשת בכוח חשמלי עודף בתקופות של עודף חשמל על מנת לאגור אנרגיה תרמית קרה בצורה של קרח, המשמשת לקירור בשעות השיא כאשר רשת החשמל נמצאת תחת לחץ הגבוה ביותר שלה לאספקת חשמל.

בעולם המורכב מרוח, מים ושמש, יש צורך באגירת חום נמוך ואגירת קור בנוסף לאגירה של חשמל. בעוד שרוב החימום לאוויר ומים, ורוב הקור עבור מיזוג אוויר יתקבלו ישירות ממשאבות חום הפועלות על חשמל, חלק מהחום והקור יגיעו גם מאגירה של חום וקור באמצעות תנורי מים חמים ביתיים או באמצעות הסקה מרכזית ומערכות קירור. השאר יגיעו ישירות מחימום סולארי או גיאותרמי. עודף חשמל יומר לחום או לקור שיאוחסנו לשימוש מאוחר יותר או ישמשו לשימוש מיידי.

⁹² <https://www.tesla.com/blog/introducing-megapack-utility-scale-energy-storage>

⁹³ <http://nostromo.energy/>

7.7 יישומי אגירת אנרגיה עבור רכבים חשמליים

קיימות טכנולוגיות שונות ליישומי אגירת אנרגיה לרכבים חשמליים. הטכנולוגיות המובילות בעולם כיום הן: **סוללות לאגירת אנרגיה** שיהוו את מקור האנרגיה הזול בעולם לרכבים היברידיים וחשמליים ומהווים את היישום הפופולרי ביותר. הסוללה המקובלת היום לאגירת אנרגיה ברכבים חשמליים והיברידיים הינה סוללות ליתיום-יון. סוללה נוספת היא סוללת אלומיניום-אוויר, אך כפי שכתב, סוללת אלומיניום-אוויר עדיין עומדת בפני בעיות פיתוח. טכנולוגיית אגירת אנרגיה נוספת המתפתחת בעולם, אך אין לה עדיין פעילות בישראל, היא אגירת אנרגיה באמצעות סוללה הממוקמת בתוך שלדת הרכב⁹⁴. הטכנולוגיה משלבת את מערכת הסוללות כחלק מהמבנה של שלדת הרכב כך שניתן להשיג חיסכון בעלות ובמשקל בהשוואה לאגירה של סוללות קונבנציונליות⁹⁵.

על פי P&S Market Research שוק סוללות הליתיום-יון לשוק הרכבים צפוי להגיע ל- 74.3 מיליארד דולר לעומת 24.2 מיליארד דולר, עם צמיחה שנתית ממוצעת של 15.9% בין השנים 2019-2024 (P&S Market Research, 2019).

טכנולוגיה נוספת היא **אגירת אנרגיה באמצעות מימן**. הטכנולוגיה מפיקה מימן ממים באמצעות חשמל סולארי ומשמשת כדלק לתחבורה. עלות התהליך עדיין יקרה מאוד (פורום אנרגיה, 2019). חברת NrgStorEdge הישראלית מפתחת פטנט לטכנולוגיה לאגירת אנרגיה עבור כלי רכב מונעים-מימן זולים ובטוחים לשימוש עם אפס פליטה⁹⁶. העניין באגירת אנרגיית מימן, הולך וגובר בשל קיבולת האחסון הגבוהה בהרבה שיש לו לעומת טכנולוגיות אחסון אחרות כגון סוללות. היתרון של תאי דלק מימניים להנעת רכבים חשמליים הוא שזהו תהליך יצור נקי של אנרגיה. המימן קל יחסית לשינוע ואחסון. מדברים על טכנולוגיה זו כתחליף עתידי למצברים ברכבים החשמליים. הטכנולוגיה נמצאת בניסויים אצל יצרניות רכב מובילות⁷¹.

טכנולוגיה נוספת היא **מערכת Flywheel** (Flywheel Energy Storage Systems - FESS) לאגירה מכנית של אנרגיה. ה- Flywheel הם מכשירים מכניים שמנצלים אנרגיה סיבובית כדי לספק חשמל מידי. המערכת משתמשת באנרגיה החשמלית הנכנסת והמאוחסנת בצורה של אנרגיה קינטית. למערכות אלו יש מספר יתרונות על פני מערכות אחסון אנרגיה כימיות, למשל, הם בעלי צפיפות אנרגיה גבוהה ועמידות משמעותית המאפשרת להם להסתובב לעתים קרובות ללא השפעה על הביצועים (esa, 2019). למערכת זו יישומים שונים, בעיקר לרכבים חשמליים. חברת chakratec הישראלית מפתחת מערכת זו כפתרון אופטימלי למערכת טעינה אקולוגית עבור רכבים חשמליים. הבעיה בטכנולוגיה זו היא עלותה הגבוהה⁹⁷.

שוק הרכבים החשמליים העולמי הוערך בשווי של 82.1 מיליארד דולר ב- 2018 והוא צפוי להגיע ל- 183.7 מיליארד דולר ב- 2024, עם צמיחה שנתית ממוצעת של 14.1%. ב- 2018 הוערך כי ישנם יותר מ- 300 מיליון קטנועים חשמליים על הכביש ורובם פועלים באמצעות סוללות lead-acid. כמו כן, ב- 2018 העריכו שיותר מ- 56 מיליון קטנועים ממונעים על ידי סוללות ואופניים חשמליות נוספו לשוק (בעיקר בהודו). ההערכה היא כי מספר זה יגדל ל- 90 מיליון יחידות עד 2024. אסיה ואזור האוקיינוס השקט מובילים את שוק התחבורה החשמלית בעולם, כאשר סין מובילה מבחינת מכירות של מכוניות חשמליות / מכוניות נוסעים. עוקבים אחריהם אירופה וארה"ב (BCC, 2019).

7.8 טכנולוגיות לניהול רשת / ניהול עומסים דיגיטלי למיקסום יעילות השימוש במערכות לאגירת אנרגיה

על מנת להפיק יעילות גבוהה ממערכות לאגירת אנרגיה, יש לתמוך בהן באמצעות ניהול רשת האנרגיה וניהול עומסים. ברחבי ארה"ב, למשל, השימוש באנרגיה נע על עשרות מגה-וואט לשעה ויש לנהל את מערכות האגירה והדרישה לאנרגיה על מנת שהשימוש באגירה תביא להפחתת חיובי החשמל בזמני שיא בטווח הארוך. בנושא זה עדיין קיימים בעולם פערים גדולים. לישראל יש מה לתרום בנושא, היות וישראל

⁹⁴ מתוך ראיון עם עידן ליבס, מוסד שמואל נאמן.

⁹⁵ <https://arpa-e.energy.gov/?q=slick-sheet-project/multifunctional-battery-chassis-systems>

⁹⁶ <http://www.nrgstoredge.com/>

⁹⁷ <https://www.chakratec.com/>

חזקה בנושאים טכנולוגיים הקשורים למחשוב, סייבר, שימוש מבוזר משאבים ולמידת מכונה (פורום אנרגיה, 2019). האנרגיה המבוזרת (הנובעת מסוללות רבות) מהווה אתגר למערכת ניהול החשמל, שניתן לפתור באמצעות תחנת חשמל וירטואלית (Virtual Power Plants-VPP) - פתרון טכנולוגי המספק למנהל המערכת תמונה של הספקים ועומסים. עלות ההשקעה בתחנות וירטואליות נמוכה הרבה יותר מההשקעה בתשתיות פיזיות ותחנות אלו יכולות למנוע הרחבה או שדרוג של תשתיות (תחנות כוח, קווי הולכה וכו') ובניית תשתיות חדשות. מערכת ניהול כזו תבטיח טעינה של סוללות לקראת שעות שיא הביקוש בחשמל (פורום אנרגיה, 2019). כיום פרוסים בעולם 12 תחנות וירטואליות. בשנת 2018, תחנת הכוח הווירטואלית המבוססת על מענה לפי דרישה היוותה יותר מ- 60% מכלל שוק תחנות הכוח הווירטואליות. הצפי הוא שעד שנת 2024 השוק של תחנות הכוח הווירטואליות יציג צמיחה גבוהה של 33% (Research And Markets, 2019).

בישראל פועלות כיום שתי חברות העוסקות בנושא ניהול רשת: חברת mPrest מציעה פתרון לניהול של משאבי אנרגיה מבוזרים (כגון רשת של מערכים סולאריים, סוללות וטורבינות רוח) באמצעות מערכות ניהול חכמות שיכולות לפקח, לשלוט ולייעל את זרימת האנרגיה של הרשת החכמה (smart grid). מערכות אלו מתאימות, בין היתר, לשירותי חשמל וערים חכמות⁹⁸. חברת MADA Analytics הינה חברת תוכנה לניתוח נתונים לאגירת אנרגיה. החברה פיתחה תוכנת סימולציה (MEPS) הממנפת ניתוח נתונים ליצירת ערך כלכלי עצום בעת השימוש באנרגיה מתחדשת ומסחר באנרגיה. בתקופות שבהן האנרגיה המתקבלת ממקורות של אנרגיה מתחדשת הינה עודפת, התוכנה מורה למערכת אגירת האנרגיה לייצר ולפרוק חשמל לרשת החשמל⁹⁹.

7.9 אגירת אנרגיה בישראל

בישראל ישנה פעילות של משרדי ממשלה (משרד האנרגיה והמשרד להגנת הסביבה), הרשות לחדשנות, רשות החשמל וחברות בתחום האנרגיה והסביבה כולל אגירת אנרגיה, ונבחנות אפשרויות של אגירה וקצירה של אנרגיה בהקשרים שונים. בין תחומי הפעילות של משרד האנרגיה, שדרוג של רשת החשמל הקיימת לרשת חכמה¹⁰⁰ (Smart Grid), שדרוג זה כרוך באתגרים משמעותיים הן בתשתית הפיזית והן בטכנולוגיות המידע. הרשת תידרש לנהל ביעילות אלפי יצרנים בעלי תפוקות משתנות, ולפתח טכנולוגיות אגירה לטווחים שונים. טכנולוגיות מידע מתקדמות יישמו לצורך איסוף וניתוח כמויות מידע גדולות בזמן אמת באמצעות מערכות שליטה ובקרה בנקודות רבות על פני הרשת.

התייחסות לנושא אגירת אנרגיה קיימת גם בדוח המשרד להגנת הסביבה מדצמבר 2016, שבחן את צריכת האנרגיה בישראל. הדוח מתאר בדיקות תיאורטיות להיתכנות היישום של **מבני מגורים מאופסי אנרגיה**¹⁰¹ שנערכו בישראל. על פי הדוח, אחד האמצעים המשמשים לצמצום צריכת האנרגיה במבנים הוא ייצור אנרגיה מתחדשת, כלומר שימוש בטכנולוגיות המסוגלות לרתום תהליכים שאינם מתכלים מהטבע בכדי לייצר אנרגיה כגון תאים פוטו-וולטאים, שבשבות רוח, טכנולוגיות לאגירת אנרגיה ועוד¹⁰². על פי הדוח במקרים בהם מדובר על ייצור אנרגיה במקומות מבודדים או עצמאיים שאינם מחוברים לרשת החשמל, יש אפשרות לאגור את האנרגיה העודפת ולהשתמש בה בזמנים בהם אין אפשרות להפיק אנרגיה, כלומר לאפשר ליצרניה להשתמש בה בשעה שהם מבקשים לעשות זאת, ללא קשר לזמן הייצור. לכן, בתכנון מבנים מאופסי אנרגיה יש לרתום את שלושת העקרונות: התכנון הפאסיבי והתייעלות המערכות האקטיביות על מנת להגיע לתכנון מיטבי ולרמות חסכון מקסימאליות, וייצור אנרגיה מתחדשת המשלימה את דרישת האנרגיה במבנה לכדי איפוס.

בדצמבר 2019 פורסם בעיתון דה-מרקר¹⁰³ כי חברת תש"ן (תשתיות נפט ואנרגיה בע"מ), שהינה בבעלות המדינה, נכנסת לתחום האנרגיות המתחדשות, תוך השקעה של 60 מיליון שקל בהקמת **שדה סולארי** לייצור

⁹⁸ <https://www.mprest.com/>

⁹⁹ <https://www.madaanalytics.com/>

¹⁰⁰ https://www.gov.il/he/Departments/Guides/projects_science?chapterIndex=2

¹⁰¹ מבנים מאופסי אנרגיה: במבנים אלו כמות האנרגיה הנצרכת מן הרשת, במאזן שנתי, מתאזנת עם כמות האנרגיה המתחדשת המיוצרת בהם או בסמיכות אליהם (-) [http://www.sviva.gov.il/InfoServices/ReservoirInfo/DocLib4/R0401-\(R0500/R0417.pdf](http://www.sviva.gov.il/InfoServices/ReservoirInfo/DocLib4/R0401-(R0500/R0417.pdf)

¹⁰² <http://www.sviva.gov.il/InfoServices/ReservoirInfo/DocLib4/R0401-R0500/R0417.pdf>

¹⁰³ <https://www.themarket.com/dynamo/.premium-1.8315334>

14 מגה ואט של אנרגיה סולארית במתקניה בדרום הארץ. החברה בוחנת כניסה לתחום של אגירת אנרגיה, שיאפשר שימוש באנרגיה הסולארית גם בשעות שבהן אין קרינת שמש חזקה.

במעלה גלבוש פועלת תחנת כוח הידרו-אלקטרית עבור טכנולוגיה של **אגירה שאובה** (שאיבת מים ממאגר נמוך למאגר גבוה). תחנה זו משמשת בעיקר לאגירת אנרגיה. התחנה פועלת באמצעות שני מאגרי מים ענקיים (האחד במרומי הגלבוש והשני בעמק בסמוך לקיבוץ רשפים) שביניהם יש הפרש גובה של 500 מטרים. המים נשאבים מהמאגר התחתון אל העליון בשעות הלילה, ומוטלים חזרה בכוח אדיר על שתי טורבינות הידרו-אלקטריות בשעות היום. הטורבינות מייצרות 300MW חשמל (2.5% מהספק החשמל המיוצר בשעות השיא בארץ כולה)^{71,104}.

7.10 תמיכה ממשלתית בתחום אגירת אנרגיה

הגופים העיקריים המעניקים תמריצים כלכליים לחברות בתחום אגירת אנרגיה הם רשות החדשנות ומשרד האנרגיה.

תוכניות משרד האנרגיה:

ביוני 2018, פרסם משרד האנרגיה תוכנית מאושרת להקמה של המתחם הסולארי הגדול ביותר בישראל. האתר יופעל בטכנולוגיה פוטו-וולטאית ויאפשר ייצור של כ- 500 מגוואט המהווים כ- 20% מיעדי הממשלה לשנת 2025 כפי שנקבעו לקראת ועידת האקלים בפריז. האתר צפוי להיות מבין האתרים הסולאריים הגדולים בעולם. האתר הנבחר, בשטח כולל של כ-6,000 דונם, מצוי בדרום לאזור התעשייה של העיר דימונה. התוכנית תאפשר מערך לאגירת אנרגיה¹⁰⁵.

תוכנית משרד האנרגיה לפיתוח משק אנרגיה נקי חותרת לקידום כלכלת אנרגיה יעילה וירוקה המבוססת על מספר יעדים אסטרטגיים: חדירת אנרגיה מתחדשת, גידול בייצור החשמל המקומי והמבוצר תוך התייעלות אנרגטית, בדגש על ייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת, פיתוח רשת חשמל חכמה ומנוהלת, ועידוד כניסה מסיבית של כלי רכב חשמליים המבוססים על טעינה ופריקה מנוהלת, והחלת איסור מכירת כלי רכב חדשים שאינם חשמליים החל משנת 2030. על מנת להגשים יעדים אלו נדרש לפתח אגירת אנרגיה ונדרשת הגדלת יעילות הפקת אנרגיה סולארית ואגירת אנרגיה לשימושים ניידים ונייחים¹⁰⁶.

תוכניות רשות החדשנות:

תחום האנרגיות המתחדשות יחד עם נושא אגירת אנרגיה מהווים נדבך מרכזי בתעשיית הקלינטק ובשנים האחרונות נמצאים במגמת פיתוח מואץ בעולם ומושכים עניין רב. בדוח של הרשות לחדשנות "חדשנות בישראל תמונת מצב 2018-2019"¹⁰⁷, זיהום האוויר נחשב גורם הסיכון הסביבתי הגדול ביותר על בריאות הציבור והמשרד להגנת הסביבה מפעיל כלי תמיכה ותמריצים לעידוד טכנולוגיות קלינטק, התייעלות אנרגטית והפחתת זיהום אוויר. השווקים המרכזיים לטכנולוגיות אלו כוללים בעיקר את תחום האנרגיה, הכולל התייעלות אנרגטית, ייצור אנרגיה מתחדשת, **אגירת אנרגיה** וחלוקה.

הרשות לחדשנות מיישמת את **המרכז הטכנולוגי לאנרגיות מתחדשות - קלינטק**¹⁰⁸, במסגרת מסלול מענק למו"פ. המרכז הטכנולוגי לאנרגיות מתחדשות תומך במיזמי מחקר ופיתוח החל משלבי המחקר האקדמי, במיזמים טכנולוגיים בראשית דרכם ובביצוע בדיקות וניסויים למוצרים בשלבי פיתוח, ניסוי והדגמה. המרכז מופעל על ידי זכיון מהמגזר הפרטי בשילוב עם משקיע אסטרטגי ומרכז מחקר אקדמי. פעילות המרכז מתבצעת באזור חבל איילות. המרכז הטכנולוגי תומך במיזמים בתחומים הטכנולוגיים, ביניהם, אנרגיה סולרית ואגירת אנרגיה. מסלולי התמיכה המוצעים במסגרת המענק: 1. מסלול ראשוני - מחקרים במוסדות מחקר אשר ניתן לפתחם לטכנולוגיות ומוצרים הניתנים למסחור. גובה התקציב המאושר לכל הפרויקטים במסלול זה לכל שנה לא יעלה על 2 מיליון ש"ח. 2. מסלול מתקדם - קידום פרויקטים משלב הוכחת

¹⁰⁴ <http://windfarm.co.il/אנרגיה-מתחדשת/אגירה-שאובה/>

¹⁰⁵ https://www.gov.il/he/Departments/news/spokesperson_solar_dimona

¹⁰⁶ <https://innovationisrael.org.il/magazine-article/4192>

¹⁰⁷ חדשנות בישראל תמונת מצב 2018-2019

¹⁰⁸ <https://innovationisrael.org.il/startup/programsrnd/cleantech>

ההיתכנות ועד לשלב שבו ניתן לגייס השקעות. היקף הפעילות יהיה של שלושה עד ששה פרויקטים חדשים בכל שנה. לחברה שהוקמה לראשונה במסגרת המרכז הטכנולוגי המענק יהיה בשיעור השתתפות של 85% מהתקציב המאושר ולא יעלה על סך של 2.125 מיליון ש"ח. לחברה שהוקמה עוד לפני תחילת פעילותה במסגרת המרכז הטכנולוגי, המענק יהיה בשיעור השתתפות של 60% מהתקציב המאושר ולא יעלה על סך של 1.5 מיליון ש"ח לפרויקט. 3. מסלול שטחי ניסוי - פעילות הכשרה והפעלה של שטחים לניסוי, הדגמה והוכחת היתכנות טכנולוגית. גובה כלל התקציב המאושר בשנה עבור כל הבקשות יעלה על 4 מיליון ש"ח.

מכרזים וקולות קוראים בתחום אגירת אנרגיה בשנתיים האחרונות:

- ביוני 2018, פרסמה רשות החדשנות הודעה על תכנית לאומית להתייעלות במשאבים וחדשנות סביבתית המיועדת לתמוך בפיתוח טכנולוגיות סביבה ובפרט בהקמת מתקני הרצה, לשיפור איכות הסביבה ולפיתוח תעשייה ישראלית עתירת ידע. טכנולוגיות אלו כוללות, בין היתר, ייצור ואגירת אנרגיה נקייה¹⁰⁹.
- ב-2019, פרסמה רשות החדשנות קול קורא לתאגידים המעוניינים להקים מעבדת חדשנות בתחומי הגנת הסביבה והקיימות במסגרת מסלול מעבדות לחדשנות טכנולוגית, מעבדות העוסקות בין היתר בתחום אגירת אנרגיה נקייה¹¹⁰.
- בפברואר 2019, פרסמו הרשות לחדשנות, המשרד להגנת הסביבה ומשרד הכלכלה והתעשייה כי יתמכו בהקמת מעבדת חדשנות טכנולוגית בתחומי הגנת הסביבה והקיימות. המעבדה תקלוט ותקדם חברות הזנק בתחומי טכנולוגיות הגנת סביבה וקיימות העוסקות בין היתר בייצור ואגירת אנרגיה נקייה¹¹¹.
- במאי 2019, פרסם מרכז האנרגיה ישראל-ארה"ב (משרד האנרגיה, רשות החדשנות ומשרד האנרגיה של ארצות הברית) קול קורא בהיקף של 40 מיליון דולר לתקופה של חמש שנים להקמתו של מרכז מצוינות באנרגיה, הנדסה ומים המשותף לישראל וארה"ב. מטרת הקמת המרכז היא לקדם את הביטחון האנרגטי והפיתוח הכלכלי של ישראל וארה"ב באמצעות שיתופי פעולה במחקר ופיתוח טכנולוגיות חדשניות של חברות, מוסדות מחקר ואוניברסיטאות בישראל ובארה"ב. בין התחומים בהם יעסוק המרכז הוא תחום אגירת אנרגיה. ממשלות ארה"ב וישראל יעניקו למרכז האנרגיה 8 מיליון דולר כל אחת בשנתיים הראשונות בתקופת ההשקה. התמיכה היא לחמש שנים, כך שסך תקציב הפרויקטים הנתמכים, תוך לקיחה בחשבון של מימון עצמי של 50% הנדרש מהזוכים, יוכל להגיע ל-80 מיליון דולר, בכפוף להקצאות הקונגרס האמריקאי והתקציב הישראלי. במסגרת הקול קורא, ארבעה מאגדים יזכו במענק. אחד התחומים הינו אגירת אנרגיה. המענק המקסימלי למאגד הוא בסך 10 מיליון דולר לתקופה של חמש שנים - 2 מיליון דולר לשנה¹¹².
- ביולי 2019, פרסם קול קורא שלישי מטעם הרשות לחדשנות והמשרד להגנת הסביבה להגשת בקשות סיוע עבור תוכניות הרצה בתחומי הגנת הסביבה. על התוכניות לייצור אימפקט משמעותי לצמיחת החברה, כגון בהתקדמות משמעותית במוכנות המוצר למסחר ובסיוע בקידום חדירתו לשוק. אחד התחומים אליהם מיועדת התמיכה הינה בתחום ייצור ואגירת אנרגיה נקייה¹¹³.
- באוגוסט 2019, פרסם משרד האנרגיה מרכז לקבלת שרותי בדיקת היתכנות ותכנון ראשוני להקמה והפעלה של מתקני אגירה וניהול אנרגיה בישראל. המשרד מפרסם מרכז למימון העלויות הנדרשות להכנת בדיקת התכנות ראשונית בסך של עד 200 אלף ש"ח למציע. בדיקת ההיתכנות תציג את הטכנולוגיות הקיימות והיכולת שלהן לאגור אנרגיה, ותנתח ותבחן את המשמעות ההנדסיות, הסביבתיות, הרגולטוריות והכלכליות הנובעות מהקמת והפעלת מתקן האגירה בטכנולוגיות אלו, ביחס לאתר ספציפי בישראל¹¹⁴.

¹⁰⁹ https://innovationisrael.org.il/press_release/3790

¹¹⁰ <https://innovationisrael.org.il/kol-kore/4267>

¹¹¹ https://innovationisrael.org.il/press_release/4282

¹¹² https://www.gov.il/he/Departments/news/bird_050519

¹¹³ <https://innovationisrael.org.il/kol-kore/4075>

¹¹⁴ https://www.gov.il/he/Departments/publications/Call_for_bids/tender_69_19

פעילות המדינה בעיר אילת ובמועצה האזורית חבל איילות בנושא אנרגיה מתחדשת ואגירת אנרגיה:

המדינה יחד עם החברה לאנרגיה מתחדשת אילת-איילות¹¹⁵ (חברה ללא מטרת רווח, שמטרתה לפתח את תחום האנרגיה המתחדשת כמנוף לפיתוח אזורי בעיר אילת ומועצה אזורית חבל איילות) פועלת בנושא אנרגיה מתחדשת ואגירה:

באוגוסט 2019 פורסם כי הועדה המחוזית לתכנון ובניה מחוז דרום החליטה על תכנית להקמת תחנת כוח סולארית למתח גבוה הכוללת אגירה. על פי התוכנית בקרוב יוקם מתקן סולארי של 32 מגה-וואט על שטח של 300 דונם סמוך לקיבוץ יוטבתה. 16 מגה-וואט ינוצלו בשעות היום ו 16 מגה-וואט נוספים ייאגרו כך שניתן יהיה להשתמש בחשמל ירוק גם בשעות הלילה.

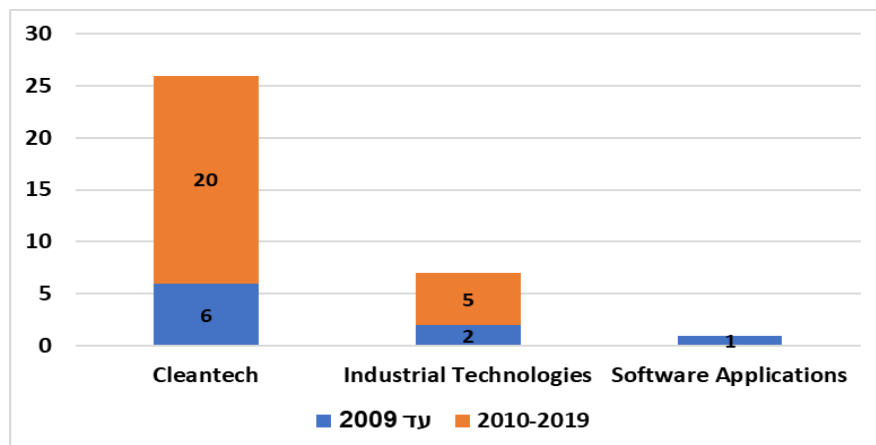
בספטמבר 2019 פורסם כי החברה פועלת להכנסת האגירה לאזור לצורך הסטת עודפי הייצור ואספקה של 100% אנרגיה נקייה 24/7 לאזור הדרום. פרויקטי האגירה יפעלו בשני ישובים בערבה וכן במוסדות חינוך בעיר אילת. האגירה תיעשה בהיקפים שונים ובטכנולוגיות שונות, במטרה להפוך לשדה ניסויים מרתק של אגירת אנרגיה בישראל.

7.11 תעשייה בישראל בתחום אגירת אנרגיה

בישראל פועלות 34 חברות העוסקות באגירת אנרגיה בשלושה סקטורים עיקריים שתויגו במאגר ה-Startup Nation Central Finder¹¹⁶ תחת התיג: Energy-storage¹¹⁷ (רשימת החברות מופיעה בנספח א'). בעשור האחרון חלה עליה במספר החברות הפועלות בתחום אגירת אנרגיה בישראל מ-9 חברות בשנת 2009 ל-34 חברות ב-2019.

26 חברות פועלות בתחום הקלינטק, כאשר 20 חברות חדשות נפתחו בתחום זה בשנים 2010-2019 (איור 38). נתון זה מעיד על גידול בתעשיית הקלינטק, תעשייה המיועדת, בין היתר, גם לפיתוח מערכות לאגירת אנרגיה. הגידול נובע מהצורך בהתמודדות עם זיהום האוויר והכנסת אנרגיה נקייה לשימושים של אנרגיות מתחדשות ואגירת אנרגיה לתחום (ראה התמיכה של הרשות לחדשנות בנושא הקלינטק).

איור 38: הגידול במספר החברות בשנים 2010-2019 לפי סקטור



מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder⁹⁴

שלב פיתוח המוצר⁹⁴: כמחצית מהחברות (41%) נמצאות בשלב Released של המוצר וכשליש מהן (32%) נמצאות בשלב המו"פ (R&D) של המוצר. שאר החברות נמצאות בשלבי Alpha ו-Beta של המוצר. לדוגמא, חברת ETV Energy נמצאת בשלב ה-Released של המוצר ומפתחת סוללת ליתיום-יזן לשוק הרכב. סוללה חדשה המבוססת על קתודת מתח-גבוה והמעבירה רמת אנרגיה ספציפית של 220-250 kg/Wh¹¹⁸.

¹¹⁵ <http://www.eilateilot.org/he/>

¹¹⁶ <https://finder.startupnationcentral.org/>

¹¹⁷ החברות המופיעות במאגר ה-Startup Nation Central Finder הן חברות בעלות תיוג של Energy-storage ומופיעות כפעילות במאגר זה, נכון לדצמבר 2019.

¹¹⁸ <http://www.etvenergy.com/>

שלב המימון⁹⁴: כמחצית מהחברות (41%) נמצאות בשלב מימון Pre-seed או Seed. כחמישית (21%) נמצאות בשלב Revenue Financed. 15% מהחברות נמצאות בסבבי מימון A, B או C+.

גודל החברות⁹⁴: מתוך 34 החברות שנסקרו, 28 חברות (82%) הינן חברות קטנות עד 50 עובדים לחברה, 23 מהן בתחום הקלינטק. בנוסף, 5 חברות הינן חברות בינוניות (200-51 עובדים) וחברה אחת גדולה (201-500 עובדים).

בנובמבר 2019, שלוש חברות, מתוך 34 החברות, דורגו בין 43 חברות הסטארט-אפ המובילות בעולם: Brenmiller Energy דורגה במקום החמישי, Nostromo Energy במקום ה-23 ו-H2 Energy Now במקום ה-34 (EnergyStartups, 2019).

בנוסף, קיימת בישראל פעילות בתחום אגירת האנרגיה גם של חברות גדולות וותיקות:

Ormat Technologies - חברה בינלאומית בתחום האנרגיה והחשמל העוסקת בהקמה ותפעול של תחנות כוח הפועלות על אנרגיה חלופית, בעיקר אנרגיה גיאותרמית, ייצור ציוד לייצור חשמל וציוד עזר. החברה מציעה פתרונות תעשייתיים בנושא אגירת אנרגיה: הפעלת שוק של משאבי טעינה או אחסון מבוזרים, סוללות אגירה כשירות, הנדסה ואינטגרציה של מתקנים לאגירת אנרגיה¹¹⁹.

שיכון ובינוי אנרגיה - חברת בת של שיכון ובינוי. החברה פועלת במספר פרויקטים לבניית תחנות לאגירת אנרגיה¹²⁰: **אשלים** - פרויקט אנרגיה מתחדשת הכולל תחנת כוח תרמו-סולארית בהספק של 121 מגה-וואט. הפרויקט מוקם מכוח הסכם זיכיון עם מדינת ישראל בשיטת B.O.T (Build Operate Transfer) לתקופה של 28 שנה. התחנה משתרעת על פני שטח של 3,900 דונם ותספק חשמל לכ-60 אלף משקי בית. עד שנת 2020 התחנה מתוכננת לייצר 10% מהחשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות. **שיבולים** - תחנת כוח סולארית פוטו-וולטאית (PV) בהספק 12.46 מגה-וואט. **עין השלושה** - תחנת כוח סולארית פוטו-וולטאית (PV) בהספק 5 מגה-וואט. **נבטים** - תחנת כוח סולארית פוטו-וולטאית (PV) בהספק 18 מגה-וואט. **ברוש** - תחנת כוח סולארית פוטו-וולטאית (PV) בהספק 9.632 מגה-וואט. **שחר** - תחנת כוח סולארית פוטו-וולטאית (PV) בהספק 9.1 מגה-וואט. **שניאור צאלים** - תחנת כוח סולארית פוטו-וולטאית (PV) לתכנון, מימון, הקמה ותפעול של תחנת כוח סולארית בהספק של כ-120 מגה-וואט⁶⁵.

חברת כי"ל (כימיקלים לישראל) - מתוך כלל פעילויות המו"פ של החברה, אגירת אנרגיה הוא אחד מפעילויות המו"פ שכי"ל מתמקדת בהן: המשך פיתוח פתרונות אגירת אנרגיה מבוססי ברום, עבור חברות סוללות ברום (Br-Battery) תוך שימוש במגוון תרכובות¹²¹.

בנוסף לחברות העוסקות בתחום אגירת אנרגיה, פועלים בישראל גם **ארבע האבים (hubs)** שתיוגו במאגר ה-Startup Nation Central Finder תחת התיוג: Energy-storage:

Johnson Controls Open Innovation - hub הממוקם בתל אביב ומציע לסטארט-אפים הזדמנות לשתף פעולה עם מיזם בשווי 30 מיליארד דולר הפועל בין היתר בתחומי ההתייעלות האנרגית ואגירת אנרגיה.

Horizon GreenTech Ventures - hub הממוקם בדימונה. נוסד על ידי תאגיד אלסטום, רותם תעשיות וגפן ביומד השקעות. ההאב ממנף מומחיות מדעית, טכנולוגית, תעשייתית ועסקית סינרגטית בין היתר בתחומים האנרגיה הירוקה ואגירת אנרגיה.

ENEL Innovation Hub - hub הממוקם בתל אביב. מציע הזדמנות עסקית ממוקדת לסטארט-אפים ישראלים להיכנס ולמלא תפקיד משמעותי בשוק האנרגיה העולמי העצום. למשל, חברת Brenmiller לאגירה של חשמל סולארי באמצעות אגירה תרמית.

Karat - hub הממוקם בחיפה. מהווה יחידת מיזם פנימית של חברת חשמל, המספקת מסגרת של שירותי השקעה ותמיכה המיועדים לפיתוח, קידום ומסחור של רעיונות חדשניים בתחומים הקשורים לאנרגיה: פתרונות בתחומי האנרגיה החשמלית הירוקה, עלויות אנרגיה נמוכות, ויעילות מערכת גבוהה יותר, במטרה

¹¹⁹ <https://www.ormat.com/en/renewables/storage/view/?ContentID=233>

¹²⁰ <https://www.shikunbinui.com/he-IL/energy>

¹²¹ <http://icl-group-sustainability.co.il/reports/continuous-innovation/>

לצמצם את התלות העולמית בדלקים פחמניים. למשל, חברת SSG Synergy solutions LTD הנותנת בין היתר פתרונות לאגירת אנרגיה לרשת החשמל.

7.12 משקיעים

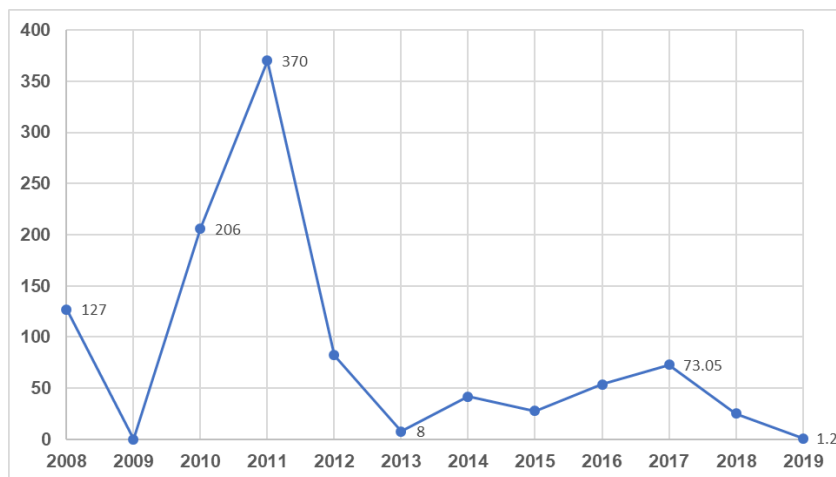
בחמש מתוך 34 החברות שנסקרו ממאגר Startup Nation Central Finder, בוצעו גיוסי הון מעל לסך כולל של 999 מיליון דולר. הטבלה הבא מציג את החברות ואת הסכום שגויס (טבלה 13).

טבלה 13: היקף גיוס ההון שבוצע בחברות בתחום אגירת אנרגיה

שם החברה	סכום הגיוס במיליוני דולרים (M\$)
BrightSource	771.0
StoreDot	130.0
Phinergy	50.0
mPrest	36.0
ETV Energy	12.0
סה"כ	999.0

בשנת 2011 היה גיוס שיא של הון. משנת 2012 חלה ירידה בגיוס ההון (מתוך מאגר Startup Nation Central Finder). נכון לנובמבר 2019, סך גיוס ההון בשנה זו הינו נמוך ועומד על 1.2 מיליון דולרים (איור 39). יחד עם זאת, בשנים בהן היו גיוסי הון גבוהים (2010 ו-2011), כל הגיוס הכספי נעשה על ידי חברה אחת (BrightSource Industries¹²²), לעומת גיוסי הון בשנים 2016-2018, שנעשו על-ידי חברות רבות.

איור 39: סך גיוס ההון (במיליוני \$) של חברות בישראל בתחום אגירת אנרגיה בשנים 2008-2019



מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder (נובמבר 2019)

החברות ישראליות משכו מימון מכ-40 משקיעים שונים, ישראלים וזרים. בין המשקיעים הישראלים נמנים משרד האנרגיה (הושקעו כ- 1.5 מיליון דולר בחברות NrgStorEdge, Nostromo Energy, Mada Analytics ו-Brenmiller Energy), הרשות לחדשנות/המדען הראשי (הושקעו 2 מיליון דולר בחברות Vollspark ו-NrgStorEdge), קרן הון סיכון, חברת השקעות המפעילה חממה טכנולוגית פלטפורמת השקעות עולמית (מימון המונים). בין המשקיעים הזרים נמנים חברות השקעה, קרנות הון סיכון, חברות

¹²²<http://www.brightsourceenergy.com> החברה מתכננת, מפתחת ופורסת טכנולוגיה תרמית סולארית לייצור חשמל וקיטור לשוקי חשמל, נפט ותעשייה ברחבי העולם

טכנולוגיה, אנרגיה וגז, קרן מחקר. בנוסף, היו השקעות של Horizon 2020 (הושקעו 1.55 מיליון דולר בחברות, Vollspark ו-Electriq~Global) ומשרד האנרגיה בארה"ב.

7.13 פעילות אקדמית ומרכזי מחקר

בישראל פועלים מספר מרכזי מחקר אקדמיים בתחום אגירת אנרגיה:

המרכז למחקר הנעה אלקטרוכימית בישראל¹²³ - Israel National Research center for Electrochemical propulsion (INREP). נושא האנרגיה אלקטרו-כימית באקדמיה נעשה כיום בישראל במרכז זה. מוביל מרכז הינו פרופ' דורן אורבך, אוניברסיטת בר אילן. המרכז כולל 24 קבוצות מחקר משבע אוניברסיטאות (בר אילן, הטכניון, תל אביב, בן גוריון, מכון ויצמן, אריאל והאוניברסיטה העברית). למרכז שיתופי פעולה עם גורמי חוץ ועם התעשייה. הרעיון להקמת המרכז נבע מהחזון של מדינת ישראל להסרת התלות העולמית בנפט. המימון למרכז מגיע ממנהלת תחליפי דלקים במשרד ראש הממשלה, מהמל"ג-ומות"ת. בין הנושאים בהם עוסק המרכז הוא נושא אגירת אנרגיה, כתמיכה באנרגיות מתחדשות (פורום אנרגיה, 2019).

תוכנית האנרגיה על שם גרנד בטכניון¹²⁴. במרכז מתבצע מחקר בנושא אגירה והמרה של אנרגיה (סוללות ותאי דלק) ובנושאים נוספים כגון דלקים חלופיים, אנרגיות מתחדשות ושימור אנרגיה. בין החוקרים המובילים במרכז בנושא אגירת אנרגיה: פרופ' יאיר עין-אלי, בין מחקריו בנושא משטחי אלומיניום באלקטרוליטים אורגניים עבור סוללות אלומיניום-אור.

המרכז לאנרגיה מתחדשת באוניברסיטת תל אביב¹²⁵ מונה מעל 300 חוקרים משבע פקולטות שונות ופועל להקמת מעבדות מתקדמות, ביו היתר, בנושא של אגירת אנרגיה בתאי דלק ובסוללות זעירות. בין החוקרים במרכז פרופ' דיאנה גולודניצקי שפעילותה המחקרית מתמקדת בסינתזה, אפיון חומרים ותופעת מעבר יונים בננומבנים של אלקטרודות ואלקטרוליטים מוצקים עבור התקני אחסון אנרגיה.

המרכז לננו טכנולוגיה וחומרים מתקדמים באוניברסיטת בר אילן¹²⁶. המרכז עוסק בפיתוח אמצעים לאנרגיה מתחדשת: תאים פוטו-וולטאיים, אגירת אנרגיה, אנרגיה סולרית תרמית ושימור אנרגיה. בין החוקרים במרכז, פרופ' דורן אורבך מהמחלקה לכימיה הפועל לפיתוח סוללות לאגירה. פרופ' אורבך זכה בפרס ראש הממשלה ע"ש סמסון לחדשנות בתחום תחליפי נפט לתחבורה בשנת 2019. פרופ' דורן אורבך זכה בפרס על תרומתו פורצת הדרך לפיתוח סוללות מסוג חדש, בהן סוללה חדשנית מבוססת מגנזיום. למחקריו פוטנציאל גדול להביא לפיתוח סוללות חדשניות להנעת מכונות חשמליות ובכך להוות תחליף לדלק פוסילי-נוזלי¹²⁷.

המרכז הלאומי לאנרגית שמש שדה בוקר באוניברסיטת בן גוריון¹²⁸. המרכז מוקדש לביצוע מחקרים בנושא האנרגיה המתחדשת. היקף המחקר נע מקצירת אנרגיה סולארית לאגירת אנרגיה, מדעי חומרים, אופטיקה ופיזיקת שטח, כגון פוטו-וולטאיקה בריכוז גבוה, פיזיקה של תאים סולאריים ביעילות גבוהה מאוד, פוטו-וולטאיקה אורגנית, אלקטרוליטים מרוכזים מאוד לקבלים-על וסוללות, אור- מטא-חומרים תגוביים ומשטחים אלקטרו-מולקולריים.

המרכז לחקר האנרגיה באוניברסיטת אריאל¹²⁹. בין הנושאים הנחקרים במרכז נחקרים נושאים של אגירת אנרגיה כימית. בין חוקרי המרכז ד"ר משה אברבך, ראש המעבדה למערכות אגירה חשמליות.

¹²³ <http://inrep.org.il/>

¹²⁴ <https://qtep.technion.ac.il/he/>

¹²⁵ <https://www.tau.ac.il/renewable-energy>

¹²⁶ <https://nano.biu.ac.il/he/research-centers/energy>

¹²⁷ <https://www1.biu.ac.il/index.php?id=3&pt=20&pid=3&level=2&cPath=3&type=1&news=3226>

¹²⁸ <https://in.bgu.ac.il/en/solar/Pages/default.aspx>

¹²⁹ <https://www.ariel.ac.il/wp/energy-research-center/>

7.14 חממה טכנולוגית

קיימות בישראל שלוש חממות טכנולוגיות שתומכות בחברות הפועלות בין היתר בנושא אגירת אנרגיה:

חממה טכנולוגית "הון הטבע"¹³⁰. החברה לאנרגיה מתחדשת אילת-אילות (חברה ללא מטרות רווח, שמטרתה לפתח את תחום האנרגיה המתחדשת כמנוף לפיתוח אזורי בעיר אילת ומועצה אזורית חבל אילות) הקימה יחד עם המדינה וחברות פרטיות את חממת "הון הטבע"- חממה טכנולוגית וקרן השקעות לאנרגיות מתחדשות. הון הטבע מתמקדת בחדשנות קלינטק. החממה עוסקת במימון מאיץ למיזמים בשלבים מוקדמים בתחום של אנרגיה מתחדשת וקלינטק. החממה מקדמת, בין היתר, את נושא אגירת האנרגיה בהיבט הטכנולוגי והרגולטיבי על מנת לאפשר אספקת חשמל סולארי לאזור בכל שעות היממה.

בחממת "הון טבע" פועלות שתי חברות בתחום אגירת אנרגיה: חברת Chakratec המפתחת מערכת לאגירת אנרגיה בגלגלי תנופה כמענה על דרישת השוק התעשייתי והמסחרי. חברת AUGWIND. חברה שהטכנולוגיה שלה משלבת מערכת אגירת אנרגיה בתצורת אוויר דחוס, אשר מספקת חשמל בהתאם לצריכה המבוקשת, ומאוחסנת במיכל מוגן בפטנט.

חממה טכנולוגית Kinrot Ventures LP¹³¹. חממת כינרות ונצ'רס הוקמה ב-1997, וב-2012 נרכשה על ידי Hatchison Water חטיבת המים של התאגיד הציבורי בהונג-קונג. החממה ממוקמת בנתניה, ומשקיעה בחברות Seed המפתחות פתרונות מתקדמים בתחומים שונים ביניהם תחום הקלינטק ואגירת אנרגיה.

חממה טכנולוגית Terralab Ventures¹³². חממת סטארט אפ הממוקמת ביוקנעם. את החממה מפעילה קרן הון הסיכון Terra שהוקמה ב-2013 על ידי אנשי תעשייה ותיקים. החממה משקיעה במיזמי Early Stage המפתחים טכנולוגיות שמשפרות את העולם ואת איכות החיים, בין היתר, בתחום אגירת אנרגיה. לדוגמה, חברת 3dbattery הפועלת במסגרת החממה, מפתחת טכנולוגיה לשיפור הביצועים והמחיר של מיקרו-סוללות ליתיום-יון נטענות לאגירת אנרגיה.

7.15 מדדים ביבליומטריים

האיור הבא מציג את 45 המדינות המובילות במספר הפרסומים המדעיים בתחום Energy storage במהלך השנים 2014-2018 (נכון לנובמבר 2019). האחוזים מציינים את שיעור הפרסומים של כל מדינה מכלל הפרסומים בעולם בנושא¹³³. סין מובילה את הדירוג עם למעלה משליש מפרסומי העולם בתחום (36%) וארה"ב במקום השני עם כחמישית מהפרסומים (19%). באיור מודגשות בסגול מדינות בנות השוואה לישראל מבחינת גודל האוכלוסייה¹³⁴. ניתן לראות ששבע מדינות דומות נמצאות לפני ישראל בדירוג (סינגפור, שווייץ, דנמרק, בלגיה, פינלנד ונורבגיה), ארבעה מהן (סינגפור, שוודיה, שווייץ ודנמרק), מופיעות בין 20 המדינות המובילות במספר הפרסומים בתחום ה-Energy Storage. הדרוג של ישראל בתחום נמוך והיא נמצאת במקום ה-41 עם 0.34% מפרסומי העולם בתחום (איור 40). יחד עם זאת, מספר הפרסומים הישראליים עלה פי 4 במהלך העשור החולף (איור 41). לאוניברסיטאות השונות בארץ יש פרסומים בשנים אלו (אוניברסיטת בר אילן, הטכניון, אוניברסיטת תל אביב, אוניברסיטת בן גוריון, אוניברסיטה העברית, מכון ויצמן ואוניברסיטת אריאל).

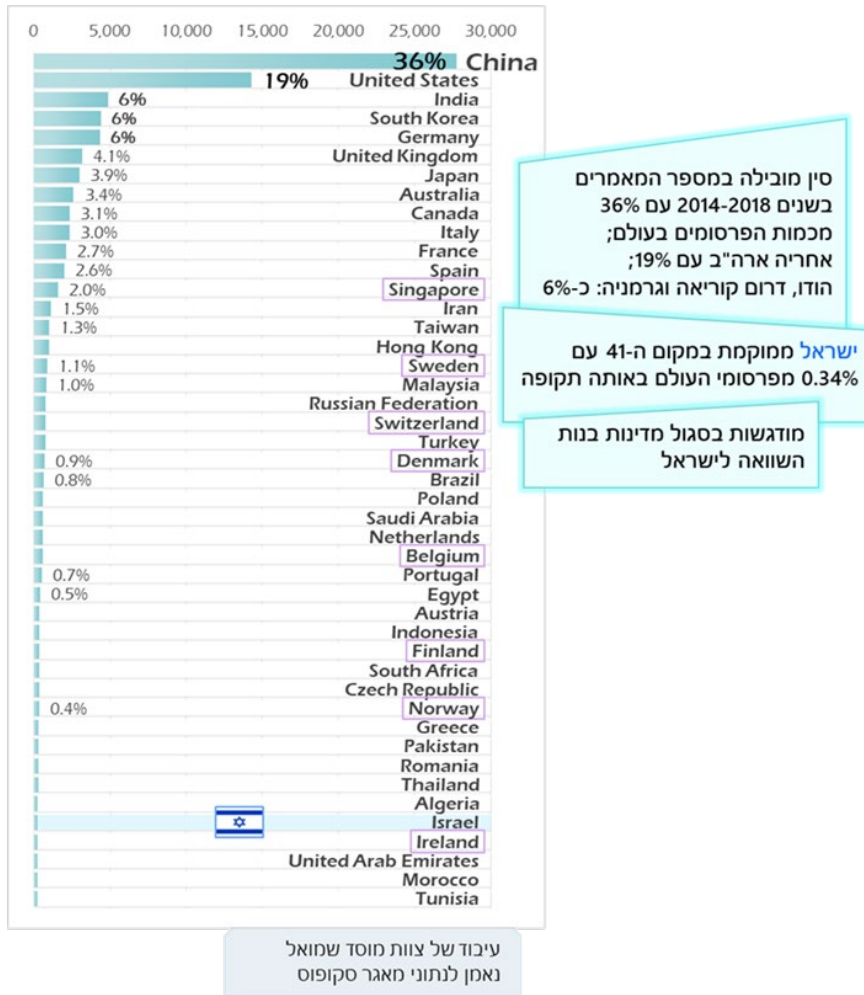
¹³⁰ <http://www.eilateilot.org/he/קפיטל-ניצור/>

¹³¹ <https://hutchisonkinrot.com/>

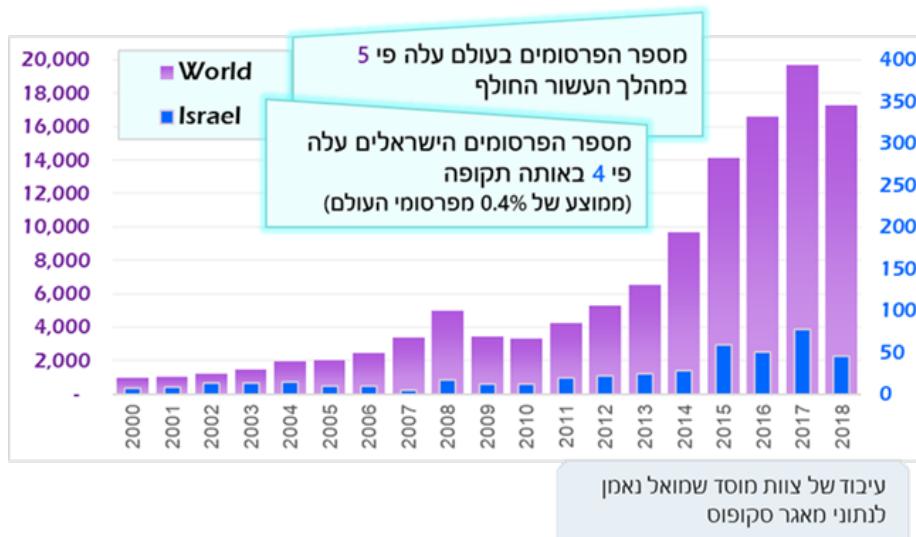
¹³² <http://www.terralb.com/>

¹³³ פרסומים שנכתבו בשיתוף פעולה של חוקרים ממספר מדינות נספרים עבור כל אחת מהמדינות ולכן סה"כ גדול מ-100%
¹³⁴ לרשימת המדינות בנות-השוואה נבחרו מדינות שדומות למדינת ישראל מבחינת גודל האוכלוסייה ומספר הפרסומים. השיקולים לבחירת המדינות מפורטים בפרק "השוואת ישראל למדינות נבחרות במדדים שונים" בדו"ח שפורסם בנושא "תפוקות מו"פ בישראל: פרסומים מדעיים בהשוואה בינלאומית, 2017"

איור 40: דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018

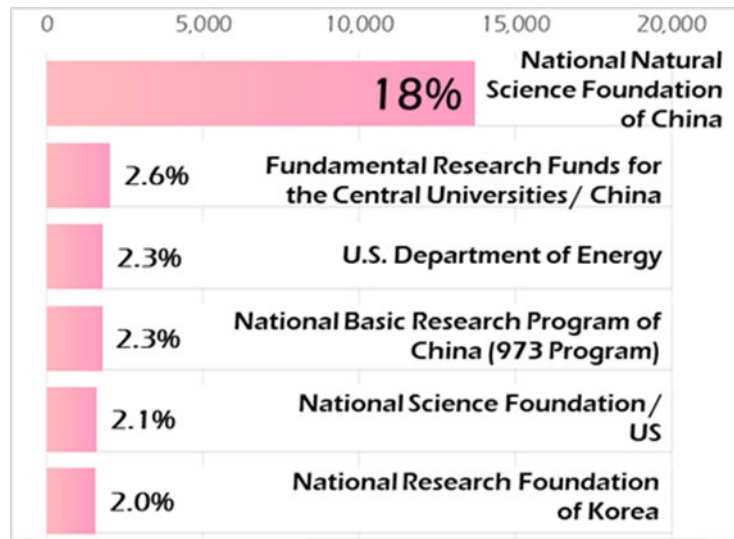


איור 41: השינוי במספר הפרסומים בתחום אגירת אנרגיה בישראל יחסית לעולם בשנים 2014-2018



איור 42 מציג את דירוג גופי המימון המובילים לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018 (נכון לנובמבר 2019). על פי האזור מתוך שישה גופי מימון, הקרן הלאומית למדעי הטבע של סין (National Natural Science Foundation of china) מובילה עם 18% מהפרסומים.

איור 42: דירוג גופי המימון המובילים לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018



עיבוד של צוות מוסד שמואל נאמן
לנתוני מאגר סקופוס

7.16 בקשות לפטנטים

בשנים 2015-2019 הוגשו תשע בקשות לפטנטים בנושא של אגירת אנרגיה. הבקשות לפטנטים הוגשו ב-USPTO על ידי ממצאים ישראלים (פירוט הבקשות לפטנטים מופיע בנספח ג). שלוש מהבקשות הוגשו על ידי חוקרים וחמש בקשות הוגשו על ידי חברות. החברות שהגישו את הבקשות לפטנטים עוסקות בנושאים של אנרגיה מתחדשת, אנרגיה סולארית נקייה ופתרונות לאגירת אנרגיה.

7.17 מענקי מחקר

מענקי המחקר בתחום אגירת אנרגיה נסקרו בששת הגופים וניתנו לחוקרים ישראלים: ERC, BARD, GIF, BIRD ו-ISF (טבלה 14).

טבלה 14: מענקי מחקר בתחום אגירת אנרגיה

Foundation	For Years	No. of relevant Grants
ERC**	2007 - 2019	5
BIRD	1988 - 2019	8
ISF	1991 - 2019	3
BSF	1997 - 2019	38
Total		54

** מענקי ERC הם חלק מ-horizon 2020

מספר המענקים הגדול ביותר בתחום בשנים האחרונות, ניתן על ידי קרן BSF, הקרן הדו-לאומית למדע ארצות הברית-ישראל התומכת בפרויקטים מחקרניים שיתופיים במגוון רחב של תחומים מדעיים בסיסיים ויישומיים.

מקורות נוספים למימון מחקרים בתחומי האנרגיה:

קרן הלמזלי (*The Leona M. and Harry B. Helmsley Charitable Trust*). הקרן העניקה לטכניון מענק בסך חמישה מיליון דולר להמשך פיתוח סוללת חשמל קלה, ידידותית, בעלת תוחלת חיים ארוכה. (המענק

הגיע בתיווכו של פרופ' גדעון גריידר. החוקר הראשי: הוא יאיר עין אלי מהפקולטה למדע והנדסה של חומרים).

משרד האנרגיה¹³⁵ מדיניות התמיכה במחקר ופיתוח של משרד האנרגיה בתחומי האחריות של המשרד. ועדת האנרגיה מטעם המועצה הלאומית למחקר ופיתוח פרסמה את הדוח¹³⁶: "מחקר אנרגיה באקדמיה בישראל 2014", המציג ניתוח חשוב של מחקר האנרגיה בישראל.

רשימת מענקי המחקר שניתנו בתחום אגירת אנרגיה מופיעה בנספח ב.

7.18 כנסים

בתחום אגירת אנרגיה מתקיימים כנסים רבים הן בישראל והן בעולם. להלן מספר כנסים נבחרים:

כנסים ופורומים בישראל:

מוסד שמואל נאמן למחקר למדיניות לאומית מקיים **פורום אנרגיה** החל משנת 2006, פורום האנרגיה האחרון נערך ביוני 2019. מטרת פורום האנרגיה היא לקיים תשתית מקצועית בתחומי האנרגיה בישראל, ולאפשר מפגשים, רב-שיח ודיונים המעודדים קידום פרויקטים בתחום האנרגיות המתחדשות, החיסכון ושימור האנרגיה. שני פורומים עסקו בתחום של אגירת אנרגיה: פורום אנרגיה מספר 35 (משנת 2014) עסק בנושא אגירת אנרגיה בייצור חשמל¹³⁷, פורום אנרגיה מספר 47 שנערך ביוני 2019 עסק במערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה לייצור חשמל מאנרגיית השמש¹³⁸.

בנובמבר 2019 התקיים **כנס חדרה לאנרגיה**. בין הנושאים הנדונים בכנס: אגירת חשמל ואגירת אנרגיה תרמית¹³⁹. בין הנושאים שהוצגו: אגירת חשמל בישראל ואגירת אנרגיה תרמית.

כנסים בעולם:

כנסים רבים בנושא אגירת אנרגיה מתקיימים ברחבי העולם מתוכם נזכיר את הכנסים הבאים:

Energy Storage Conference 2020 New Concept, NEW INSIGHTS כנס שיתקיים במרץ 2020 בדיסלדורף, גרמניה. הכנס יעסוק בנושאים כגון: יתרונות אגירת אנרגיה למערכת האנרגיה, אגירת אנרגיה ליישומים של Power-to-X ושווקים בינלאומיים לפתרונות לאגירת אנרגיה¹⁴⁰.

Energy Storage World For ESWF. פורום עולמי לאגירת אנרגיה נערך בנובמבר 2019 בסינגפור וכלל קורס הדרכה, יועצים וחוקרים המתמחים באגירת אנרגיה מבריטניה, צרפת, סינגפור, אינדונזיה והמלדיביים, ואנשי מקצוע מסחריים ותעשייתיים. בין הנושאים בפורום: רגולציה, טכנולוגיות אגירה, מודלים עסקיים ועוד¹⁴¹.

ICBEST 2020: International Conference on Batteries and Energy Storage Technology כנס יערך בדצמבר 2020 ברומא, איטליה. כנס עולמי על סוללות וטכנולוגיות אגירת אנרגיה¹⁴².

¹³⁵ https://www.gov.il/BlobFolder/guide/rd_grants/he/rd_support.pdf

¹³⁶ https://www.gov.il/BlobFolder/generalpage/molmop_reports_2014/he/10_mחקר_אנרגיה_באקדמיה_בישראל.pdf

¹³⁷ <https://www.neaman.org.il/EF35-Energy-Storage-Electricity-Production-HEB>

¹³⁸ <https://www.neaman.org.il/Energy-Forum>

¹³⁹ <http://www.haderaenergy.co.il/>

¹⁴⁰ https://www.esexpo.com/en/Conference/Conference_2020. יישומי Power-to-X: מספר המרות החשמל ואגירת אנרגיה המשתמשים בכוח חשמל עודף

¹⁴¹ <https://energystorageforum.com/>

¹⁴² <https://waset.org/batteries-and-energy-storage-technology-conference-in-december-2020-in-rome>

7.19 יתרונות וחסרונות של ישראל בתחום אגירת אנרגיה והמלצות לפעולה

יתרונות

הפרמטרים הבאים מאפשרים לישראל את היכולת להוביל בנושא אגירת אנרגיה:

- **שמש כמשאב טבעי.** לפי הבנק העולמי, במדינות רבות בעולם שהן מדינות שטופות שמש, ישנה כדאיות גבוהה לשימוש השילוב של מערכות סולאריות ואגירה והחזר ההשקעה של מתקן כזה הוא 4-5 שנים¹⁴³. מדינת ישראל היא מדינה מוצפת שמש וניתן לנצל אותה לטובת הפקת חשמל. ישראל רוויה בקרינה סולארית, ועלות הייצור מאנרגיה סולארית נמוכה בה מעלות הייצור הקונבנציונלית¹⁴⁴. על פי דוח משרד האנרגיה (אוקטובר 2018)¹⁴⁵ בנושא "יעדי משק האנרגיה לשנת 2030", רובה המכריע של האנרגיה המתחדשת בישראל צפויה להתקבל ממערכות סולריות המבוססות על אנרגית שמש. מערכות אלו אינן מספקות אנרגיה יציבה על פני שעות היממה, דבר היוצר **סום** ליישום אנרגיה מתחדשת בהיקפים מספקים. פתרון לחסם זה מבוסס על התפתחות טכנולוגית, בעיקר בתחום **אגירת האנרגיה**. לכן, יש לבחון את ההתפתחויות טכנולוגיות צפויות בתחום האגירה, רמת הנצילות של האנרגיות המתחדשות ויכולות ניהול הרשת, להרחבת היקף השימוש באנרגיות מתחדשות באמצעות פיתוח פתרונות לצרכי גיבוי משק החשמל דוגמת ייצור עצמי בחירום ופיתוח יכולת אגירה מקומית של חשמל לחירום ובחינת הכללתם של שטחים המיועדים לאגירת אנרגיה במסגרת תוכניות סטטוטוריות להקמתן של תחנות כוח (משרד האנרגיה, דוח יעדי משק האנרגיה לשנת 2030).
- **אנרגיה למגורים ולצריכה עצמית.** בישראל מלאי מבני מגורים בעלי שטחי גג פוטנציאליים משמעותי אך מנוצל באופן מזערי, וזאת על אף היתרונות הרבים הגלומים בייצור חשמל על גבי גגות, הן בהיבטים סביבתיים הן בהיבטים כלכליים וחברתיים. לניצול יתרון זה דרושים פתרונות שיאפשרו התקנת מערכות קטנות, ובפרט על גבי מבני מגורים משותפים בפריפריה¹⁴⁶. על מנת שיתרון זה ינוצל באופן המיטבי, לכן, ההמלצה היא לפתח פתרונות לאגירת האנרגיה בשעות היום שיאפשרו צריכת אנרגיה פרטית גם בשעות הערב, בהן יש ביקוש שיא לחשמל¹⁴⁷ (פורום אנרגיה, 2019).
- **פעילות מו"פ של חברות סטארט אפ לצד פעילות תעשייתית של חברות תעשייתיות ותיקות.** יתרונותיה של ישראל כתרבות Startup nation מאפשרים אקו-סיסטם של חדשנות פורצת דרך בתחום אגירת אנרגיה ליצירת סביבה הנקייה מזיהום ופליטה¹⁴⁷. בישראל חברות ותיקות גדולות לצד חברות סטארט-אפ העוסקות בתחומי האנרגיות המתחדשות, קלינטק, אגירת אנרגיה והתייעלות אנרגטית. חברות סטארט אפ רבות עוסקות באנרגיה נקייה ואנרגיות מתחדשות, נושא המשתלב במהותו עם נושא אגירת אנרגיה. שני תחומים אלו פועלים יחדיו כדי ליצור תועלתיות בייצור וצריכת אנרגיה. חברות אלו, העוסקות באגירת אנרגיה וקלינטק, עוסקות בתחום באופן ישיר או כחלק מאפליקציה ספציפית שלהן. לדוגמה, Enstorage העוסקת באגירה אלקטרוכימית, Chakratec העוסקת באגירת באמצעות גלגל תנופה ו- StoreDot העוסקת בסוללות טעינה מהירה מחומרים אורגניים. **ההמלצה היא** להמשיך ולחזק חברות סטארט אפ בחדשנות של קלינטק ואגירת אנרגיה, להמשיך יצירת פתרונות חדשניים ומתקדמים. דוגמאות לפיתוח אגירה כחלק מאפליקציה ניתן לראות במו"פ התרמו-סולארי, בו עיקר המחקר והפיתוח מתמקדים בשכלול יכולות אגירה מובנית במערכת, כאשר האגירה יכולה להתבצע בדרכים מגוונות (כימי, מכני, תרמי וכו'): למשל, Energy Brenmiller שהקימה מתקן הדגמה מסחרי בסמוך לדימונה ו- BrightSource הפעילה באשלים את תחנת הכוח התרמו-סולארית הראשונה בישראל בקנה מידה מסחרי והגדולה מסוגה בעולם.

¹⁴³ <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/30349/110879-BRI-EM-Compass-Note-23-Energy-Storage-11-16-PUBLIC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

¹⁴⁴ <http://www.sviva.gov.il/subjectsenv/greenbuilding/producing-energy-in-buildings/documents/solar-energy-nir-lotan.pdf>

¹⁴⁵ https://www.gov.il/BlobFolder/news/plan_2030/he/2030summary.pdf

¹⁴⁶ הרחבת ייצור האנרגיה הסולארית על גבי מבני מגורים, מכון ירושלים לחקר ישראל והמשרד להגנת הסביבה

¹⁴⁷ https://www.neaman.org.il/Files/6-446_20170424122145.014.pdf

- **טכנולוגיות לניהול רשת למיקסום יעילות השימוש במערכות לאגירת אנרגיה.** בנושא זה ישנה התחלה של פעילות פיתוח תוכנה לניהול רשת. בישראל ישנה פעילות רבה של חברות הייטק וסטארט-אפים בתחומי פיתוח תוכנה, פיתוח בסיסי נתונים ו-big data, לכן גם פוטנציאל עצום להפנות יכולות אלו לפיתוח מערכות ניהול המשלבות מגוון מקורות כגון אגירה חכמה. חיזוק חברות העוסקות בפיתוח טכנולוגי למערכות ניהול רשת היות ומערכות אלו, חשוב למיקסום היעילות בנושא האגירה.
- **כוח אדם למחקר בנושא אגירת אנרגיה,** ישנם בארץ מרכזי מחקר מתקדמים העוסקים בתחום האנרגיה בכלל ובאגירת אנרגיה בפרט, כפי שפורטו במסמך. לצד מרכזי המחקר, חוקרים באוניברסיטאות עוסקים ומפרסמים מחקרים בתחום.
- **אנרגיה שאובה במעלה גלבו.** התחנה מספקת 2.5% מהספק החשמל המיוצר בשעות השיא בארץ כולה. התחנה מאפשרת קיום משק אנרגיה המבוסס בין היתר על אנרגיה ממקורות מתחדשים שאינם נשלטים ואינם יציבים⁹⁰.

חסרונות

- **רגולציה ותקינה.** עיקר הכשלים מתמקדים בנושא הרגולציה והתקינה. רשות החשמל פרסמה טיוטה של מפת דרכים לפיתוח מקטע הייצור במשק החשמל¹⁴⁸ תוך התייחסות לנושא של אגירת אנרגיה. הטיוטה מתייחסת לצורך להתוות כיוונים לשילוב אגירת אנרגיה ברשת החשמל: שימוש באגירה למענה מהיר בשעות העומס, שימוש באגירה להחלפת הספק קונבנציונלי (שימוש באגירה כתחליף הספק קונבנציונלי מחייבת יכולת אנרגיה למספר שעות רצופות), שימוש באגירה לדחיית השקעות ברשת, וצמצום השלת מתקני אנרגיה מתחדשת בשעות בהן עומס הביקוש נמוך.

יש להניע את שוק האנרגיה יותר לכיוון של אנרגיה ירוקה והורדת חסמים. הכשל המתמשך בשוק האנרגיה הוא במעבר לאנרגיה ירוקה. בתחום זה יש חסמים שנוצרו ע"י חברת החשמל השואפת לשמור על מעמדה המונופוליסטי ולעיתים התנגדות של ארגונים ירוקים הדואגים לרווחת האדם, הטבע והנוף. (תחנות כוח המייצרות אנרגיה בעזרת רוח פוגמות בנוף וברוחות הציפורים). תשתיות לאגירת אנרגיה שאובה פוגמים בנוף. ניתן להתמודד עם אתגרים אלה תוך פגיעה מינימאלית בסביבה⁷¹.

אגירת אנרגיה של מערכות PV קטנות במצברים בבתיים היא שיטה המתפתחת אצל יצרנים פרטיים קטנים השואפים למקסם את ערך האנרגיה שהם מיצרים. בדרך כלל לשימוש עצמי ויתכן גם למכירה לרשת. נושא זה עדיין לא מוסדר מבחינת הרגולציה בארץ. היצרנים הביתיים מוכרים כיום את האנרגיה לרשת במחיר אחיד⁷¹.

בפורום אנרגיה שנערך במוסד שמואל נאמן **הומלץ לבנות רגולציה המעודדת אגירה.** המצב כיום הוא שחסר הסדר במספר נושאים: יש לבנות מנגנון ורגולציה מתאימה לטיפול בסוללות שיצאו משימוש; רגולציה לטעינה ופריקה של סוללות המחוברות לרשת; רגולציה לתחנות וירטואליות הכוללת בין היתר הזנת אנרגיה לרשת, קניית חשמל בתעריף עודף ועוד; תקנות בנושא אבטחת סייבר (פורום אנרגיה, 2019). מפת הדרכים של רשות החשמל מציינת כי אגירת אנרגיה צפויה לתפוס מקום משמעותי בפיתוח הייצור לאורך העשור הבא. אגירה באמצעות סוללות הינה דומיננטית וחשובה ולכן, יש להיערך למלוא ההיבטים התכנוניים, החשמליים והסביבתיים הנוגעים לשילוב נרחב של סוללות.

המגמה העולמית היא ייצור של מבזר חשמל באמצעות מערכות קטנות לייצור חשמל + מערכות אגירה. דוח שפורסם לאחרונה על ידי Navigant Research הראה כי הקיבולת השנתית הנוספת ממערכות אגירת אנרגיה מבזרות ברחבי העולם צפויה לגדול בכמעט פי עשרים עד 2028, מ-1,073.3MW ב-2019 ל-19,878.1MW ב-2028. גורמי העלייה העיקריים כוללים ירידות עלויות, תמריצים ממשלתיים ושילוב מוגבר של סולארית פוטו-וולטאית (PV) (Navigant Research, 2019).

המכון למהנדסי חשמל ואלקטרוניקה (The Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE)¹⁴⁹ חיבר מסמך יסודי (תקן 1547) לחיבור בין משאבי אנרגיה מבזרים עבור רשת החשמל.

¹⁴⁸ מפת דרכים לפיתוח מקטע הייצור במשק החשמל 2018-2030

¹⁴⁹ <https://www.ieee.org/>

מסמך זה הינו ייחודי כתקן האמריקאי הלאומי היחיד המתייחס למערכות מבוזרות המחוברות לרשת ההפצה. התקן מסייע לחדש את תשתית מערכות החשמל ולשלב טכנולוגיות אנרגיה מתחדשות נקיות (National Renewable Energy Laboratory 2014). באוקטובר 2019 T&D World פרסמו את המגמות הנמצאות בראש סדר העדיפויות בנושא התקינה. על פי הפרסום, בהמשך לגידול במתקני אנרגיה מבוזרים, ניו יורק וקליפורניה מקדמות תהליכי תכנון מערכות ההפצה המבוזרת שלהם בעוד מספר מדינות נוספות נקטו צעדים ליישום תהליכים משלהן (T&D World, 2019). כלומר, על מנת ליישם ביעילות ייצור חשמל ממקורות מבוזרים יש צורך בתקינה מסודרת לכן. בדוח שפורסם על ידי משרד האנרגיה באוקטובר 2018 בנושא "יעדי משק האנרגיה לשנת 2030" נכתב כי העמידה ביעד ייצור של 17% מאנרגיה מתחדשת ב- 2030 מחייבת מתן מענה לאתגרים הקשורים לניהול רשת חשמל מבוזרת. רובה המכריע של האנרגיה המתחדשת בישראל צפויה להתקבל ממערכות סולריות המבוססות על אנרגית שמש. מערכות אלו אינן מספקות, כשלעצמן, אנרגיה יציבה על פני שעות היממה ובכך נוצר חסם ליישום אנרגיה מתחדשת שניתן להסירו בעיקר על ידי אגירת אנרגיה (משרד האנרגיה, 2018).

ברפורמה של משק החשמל, שפורסמה ביוני 2018 (מספר החלטה 3859¹⁵⁰) ישנם שני סעיפים המבהירים את נושא אגירת אנרגיה. על פי סעיף י' בהחלטה, "חברת החשמל לא תפרוס רשת חלוקה חדשה במקום בו קיימת רשת פרטית ערב תיקון החוק. מקום זה ייראו אותו כצרכן, אלא אם רשות החשמל תורה אחרת. במקרים שבהם יוקמו מיקרו גנרציה או מתקן אגירת חשמל, שאינם בשטח פרטי, שיצריכו העברת אנרגיה לרשת ולצרכנים שונים, למעט מתקנים בחצר צרכן, הרשת המחברת אותם לשאר הצרכנים תוקם ותתופעל על ידי חברת החשמל כספק שירות חיוני או על ידי מחלק בשטחו." בנוסף, על פי סעיף טז' בהחלטה, "חברת החשמל תהיה רשאית להקים ולתפעל מתקני אגירה אך ורק בתוך התשתית הפיסית של רשת ההולכה. האגירה בתשתית הפיסית כאמור תיקבע בתוכנית הפיתוח שיכין בעל רישיון ניהול המערכת. חברת החשמל תהיה רשאית לתכנן, להקים ולתפעל מתקני אגירה אך ורק בתוך התשתית הפיסית של רשת החלוקה והכל לפי עקרונות שתקבע רשות החשמל לשילוב מתקני אגירה ברשת החלוקה."

בפורום אנרגיה בייצור חשמל (פורום אנרגיה מספר 35, 2015) הומלץ לגבש תכנית אב למשק החשמל הישראלי גם בנושא האגירה כולל טיפול באתגרים הקשורים לאגירה כמכלול, תוך דגש על האגירה המבוזרת, באמצעות מתקני ייצור הכוללים יכולת אגירה מקומית.

• **מחסור בתמריץ כלכלי.** אין תמריצים לשימוש יעיל ומתאים לצורכי רשת החשמל ואין תמריצים כלכליים לפיתוח נושא האגירה. הפתרון הקל הינו להרחיב ולהקים רשתות חשמל קונבנציונליות נוספות ולכן יש לעודד תמיכה ממשלתית בפתרונות לאגירת אנרגיה על מנת ליצור משק יעיל של אספקה וייצור אנרגיה (פורום אנרגיה, 2019). לצרכן הפרטי אין היום עדיפות כלכלית לצרוך בעצמו את כמות החשמל הנאגרת אלא עדיף לו למכור לרשת החשמל¹⁵¹.

יש לאפשר למתקנים המשלבים מערכות סולאריות ואגירה ליהנות מהטבה של Net Metering, כך שבעלי מתקנים אלו יוכלו להזין אנרגיה לרשת ולקבל קרדיט על כולה (היום בישראל עדיין לא ניתן לקבל היתר לסוללות להזין חשמל לרשת) (פורום אנרגיה, 2019).

אנרגיה שאובה. דרך לשמור אנרגיה במאגר מים גבוה, בזמן עודף באנרגיה. כיום נבנה פרויקט כזה באתר ליד בקיבוץ מעלה הגלבו. אין ניצול של המשאבים הקיימים: הים התיכון והכנרת וניצול הפרש הגבהים ביניהם. "תעלת הימים" התימרה לתת ערך רב בגלל הפרש הגבהים בין הים התיכון לעמק הירדן⁷¹.

¹⁵⁰ https://www.gov.il/he/Departments/policies/dec3859_2018

¹⁵¹ מתוך הריאיון עם פרופ' גרשון גרוסמן

7.20.1 נספח א': רשימת 34 החברות בתחום אגירת אנרגיה מתוך startup nation central

name	tag_line	sector	funding_stage	product_stage	employees
InEnSto	Innovations in Energy Storage	Cleantech	Seed	R&D	"1-10"
IsraZion	Nanomaterial and Colloid Products	Cleantech	Revenue Financed	Released	"1-10"
UltraCharge	Lithium-ion Battery Technology	Industrial Technologies	Public	Released	"1-10"
Battery Solution International	Battery Life Extension and Refurbishment	Cleantech	Revenue Financed	Released	"1-10"
Spheratec Technologies	Photovoltaic Energy Production and Storage	Cleantech	Revenue Financed	Released	"1-10"
Enervibe	Energy Harvesting Solutions	Cleantech	Pre-Seed	R&D	"1-10"
VoltaNano	Nanotechnology-enhanced Lead-acid Batteries	Industrial Technologies	Established	Released	"51-200"
StoreDot	Organic Fast-charging Batteries	Cleantech	C+	Released	"51-200"
H2 Energy Now	Efficient Hydrogen Energy Storage System	Cleantech	Seed	Beta	"1-10"
NrgStorEdge	Safe Energy Storage for Hydrogen-powered Vehicles	Cleantech	Seed	R&D	"1-10"
TUBEX NRG	Bionanotechnology Solution to Extend Battery Life	Cleantech	Seed	R&D	"1-10"
EVChip	Battery Control System	Industrial Technologies	Seed	R&D	"1-10"
Vollspark	Smart Power Transformers for Regulating Alternative Energy Input	Cleantech	Seed	Beta	"1-10"
Chakratec	Kinetic Energy Storage	Cleantech	C+	Beta	"11-50"
Electriq~Global	Water-based Fuel	Cleantech	Revenue Financed	Alpha	"11-50"
3DBattery	Technology for 3D Batteries	Industrial Technologies	Seed	R&D	"1-10"
ETV Energy	Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles	Cleantech	Revenue Financed	Released	"1-10"
Phinergy	Metal € "Air Batteries to Extend Device Range	Cleantech	A	Released	"11-50"
Kalisaya	Portable Energy Generator with Folding Solar Panels	Cleantech	Revenue Financed	Released	"1-10"

Nostromo Energy	Ice-based Energy Storage System	Cleantech	Bootstrapped	Beta	"11-50"
BrightSource Industries	Solar Thermal Technology	Cleantech	C+	Released	"51-200"
Mada Analytics	Predictive Data Analytics for Optimizing Energy Management	Industrial Technologies	Seed	Beta	"1-10"
Augwind	Compressed Air Solutions	Cleantech	Seed	Alpha	"1-10"
Electric Fuel	Standard and Custom Batteries and Chargers	Industrial Technologies	Established	Released	"51-200"
NRG Spring	Energy Storage System	Cleantech	Seed	R&D	"1-10"
CrystalEn Semiconductor	Single-crystal Diamond Production	Industrial Technologies	Seed	R&D	"1-10"
AHG Energy	Hybrid Solar Power Systems	Cleantech	Revenue Financed	Released	"1-10"
Brenmiller Energy	Thermal Energy Storage	Cleantech	Public	Released	"51-200"
BikeHive	Charging System for Bicycles and Scooters	Cleantech	Pre-Seed	Customer development	"1-10"
The Sustainable Group	Self-sustained Villages	Cleantech	Bootstrapped	R&D	"11-50"
M. Energy	Dimethyl Ether-based Fuel Cell	Cleantech	Seed	R&D	"1-10"
Phoenician Energy	Aluminum € "air Battery Technology for Marine Vessels	Cleantech	Bootstrapped	Alpha	"1-10"
ThermoTerra	Harnessing Energy from Humidity Fluctuation	Cleantech	Bootstrapped	R&D	"1-10"
mPrest	Monitoring and Control Software	Software Applications	B	Released	"201-500"

7.20.2 נספח ב': רשימת מענקי המחקר בתחום אגירת אנרגיה

ERC

Year	Researcher	Institute	Title	Budget
2013	Avner Rothschild	Technion	Extremely Thin Absorbers for Solar Energy Conversion and Storage	2 150 000 €
2013	David MILSTEIN	Weizmann Inst	Novel Hydrogen Storage System	150 000 €
2014	Ron Milo	Weizmann Inst	Analysis, Design and Experimental Evolution of Novel Carbon Fixation Pathways	1 999 843 €
2016	Avner Rothschild	Technion	Hydrogen production by membrane free chemical – electrochemical systems	150 000 €
2018	Michal LESKES	Weizmann Inst	Metal Ions Dynamic Nuclear Polarization: Novel Route for Probing Functional Materials with Sensitivity and Selectivity	1 700 000 €
Total				5

BIRD (It provides conditional grants of up to 50% of a project's budget, up to 1 M\$)

Only Israeli partner is mentioned

Year	Researcher	Institute	Title	Budget
2012	Bromine Compounds Ltd	Company	Hydrogen Bromine Regenerative Fuel Cells for Smart Grid Energy Storage and Renewables	BIRD Energy
2013	EnStorage	Company	Next generation energy storage system for uninterrupted supply	BIRD Energy
2013	Bromine Compounds Ltd.	Company	Hydrogen-Halogen Regenerative Fuel Cells for Smart Grid and Renewable Energy Storage	
2014	EnStorage Israel Ltd.	Company	Next Generation Energy Storage System	
2014	Rafael Advanced Defense Systems Ltd.	Company	Turn-Key Energy Center	
2016	Technion	Company	Development of lower cost catalysts for energy storage and energy generation devices used to level intermittent renewable sources or for back-up applications.	BIRD Energy
2017	Brenmiller Energy Ltd	Company	High Temperature Storage Based CHP System	
2017	Terragenic Ltd.	Company	Safe Hydrogen Transport and Storage System	
Total				8

BSF (~ 60-200,000 \$) - 38 projects, too long to bring here but can be done if requested.

ISF (~ 300,000 NIS per year for 4 years)

2006	דורון אורבך בוריס מרקובסקי	BIU	חקר ופתוח חמרים ננומטריים חדשניים עבור סוללות נטענות בעלות צפיפות אנרגיה גבוהה והספק גבוה	
2015	דורון אורבך	BIU	אלקטרוכימיה אל-מימית של נתרן למטרות צבירה והמרה של אנרגיה	
2017	אריאל ישמח	TAU	אילוח של אטומי מתכת ב sp2 פחם: סינטזה, איפיון מבנה ותכונות אלקטרוכימיות להתקני אגירה והמרת אנרגיה	
Total				54

7.20.3 נספח ג: בקשות לפטנטים של ממציאים ישראלים

Title	Publication number	Inventor(s)	Applicant(s)	Application number	app auth	App year
ENERGY STORAGE APPARATUS	US2017317522 (A1)	BONEH RAFAEL [IL] MAROM NIR [IL] VORTMAN DAVID [IL] NITZANI NIR [IL]	NOVA LUMOS LTD [IL]	US2017155833 58	US	2017
Hydraulic Based Efficient Renewable Energy Storage And Regeneration System	US2017279303 (A1)	BAUER ABRAHAM [IL] WEISS YONA [IL] FRUEHLING YORAM [IL]	NRG SPRING LTD [IL]	US2017156194 75	US	2017
Method for Liquid Air and Gas Energy Storage	US2019063265 (A1)	SINATOV STANISLAV [IL]	SINATOV STANISLAV [IL] NEWPOLYGEN TECH LTD [IL]	US2018161098 84	US	2018
PUMPED STORAGE POWER STATION WITH ULTRA-CAPACITOR ARRAY	WO201920756 4 (A1)	FRIDRICH RAN [IL]	ELLOMAY CAPITAL LTD [IL]	WO2019IL5030 9	WO	2019
Retrofit wireless solar charger apparatus and methods	US10153657 (B1)	KOIFMAN DAVID [IL]	KOIFMAN DAVID [IL]	US2018159139 62	US	2018
SOLAR LIGHT WITH WIND TURBINE GENERATOR	US2018003353 (A1)	IZRADEL LAZAR [IL]	IZRADEL LAZAR [IL]	US2016151962 90	US	2016
STORED ENERGY SYSTEM	EP3155254 (A2)	MESINGER JESHOA [IL]	MESINGER JESHOA [IL]	EP2015075430 0	EP	2015
SYSTEM AND METHOD FOR PROLONGING BATTERY LIFE IN SOLAR-POWERED POWER STATIONS	US2019137574 (A1)	NITZANI NIR [IL] VORTMAN DAVID [IL] MAROM NIR [IL] BONEH RAFAEL [IL]	NOVA LUMOS LTD [IL]	US2018162031 26	US	2018
UNDERWATER ENERGY STORAGE SYSTEM AND POWER STATION POWERED THEREWITH	US2019276229 (A1)	ELAZARI-VOLCANI RON [IL]	AROTHRON LTD [IL]	US2019164203 46	US	2019

מקור הנתונים הוא Espacenet של ה-EPO. שאילתת החיפוש כללה את את מספרי סיווג הפטנטים הבינלאומי (IPC):

Applicant="[IL]" AND IPC=(B60L53/00 OR B60L53/50 OR B60L53/51 OR B60L53/52 OR B60L53/53 OR B60L53/54 OR B60L53/55 OR B60L53/56 OR B60L53/80 OR F03B13/06 OR F03B13/145 OR F24S20/00 OR H02J15/00 OR H02J3/28 OR H02J15/00 OR H01M10/659 OR H02S40/38 OR Y02E10/34 OR Y02E10/46 OR Y02E10/56 OR Y02E10/76)

7.20.4 נספח ד': סיכום ראיון עם עידן ליבס ונעמה שפירא, מוסד שמואל נאמן

נערכו שיחות עם עידן ליבס (19.11.19) ונעמה שפירא (20.11.19). להלן סיכום הדברים שנכתב על ידי נעמה שפירא:

אתגרים בנושא אגירה:

- כלכלי
 - טכנולוגי
 - העלאת צפיפות אנרגטית ביחס למשקל ונפח (רלוונטי למשל להנעה חשמלית לתעופה)
 - עוצמת הסוללה
 - יציבות תרמית (שהסוללה לא תתלקח)
 - עלות חומרי גלם וזמינותם
 - אורך חיים (דגנרציה)
 - בטיחות
 - ניהול (כמו שדיברנו – solaredge)
 - מחזור סוללות
 - אגירה בין-עונתית – דורש פתרונות שונים מהותית מסוללות.
- פתרונות שונים מגיעים מעולמות תוכן שונים ומתאימים לאפליקציות שונות (חשמל ביתי, חשמל ברמת רשת, חשמל לטווח קצר, בינוני או ארוך, חום, קור, תחבורה – כביש, ימי, אווירי וכו')
- טכנולוגיות נוספות שקיימות לאגירה (לא בהכרח בישראל):
- Solid-state Battery
 - קבלים – עוצמתיים אך יקרים ובעלי צפיפות אנרגיה נמוכה (משמש למשל באוטובוסים, גם בארץ, אך צריכים לטעון לעיתים קרובות).
 - Flow batteries – סוללות זרימה – מתאים ליישומי רשת, יישום מודולרי, פרופ' מתי סאס מהטכניון שמתעסק עם הנושא (<https://meeng.technion.ac.il/he/members/matthew-> / [/suss](https://www.suss.com)) כאשר החומר בסוללות הוא על בסיס ברום (זה יכול להיות אלמנט חשוב – שימוש בחומרים נפוצים בישראל)
 - Flywheel – חב' צ'קרטיק הישראלית (<https://www.chakratec.com>) – הבעיה העלות
 - אגירה באוויר דחוס (היו כמה ניסיונות בארה"ב ובישראל)

ברמת המדיניות, עדיף להגדיר מטרות (למשל, X אגירה בשנת Y, ליישום כזה או אחר) ולתת לשוק להציג את הפתרונות.

7.20.5 נספח ה': סיכום ראיון עם פרופ' גרשון גרוסמן

הראיון נערך בתאריך 25/11/2019
משתתפים: ד"ר דפנה גץ, ציפי בוכניק וסימה ציפרפל

פרופ' גרוסמן הינו עמית מחקר בכיר במוסד שמואל נאמן, ראש פרויקט פורום אנרגיה וחבר בפקולטה להנדסת מכונות בטכניון.

שינוע אנרגיה

הבעיה נוצרת בעיקר מקנה המידה של הרשת, ייצור חשמל בנקודה מסוימת (בתחנת כוח) והעברתו לנקודה אחרת (צרכן). למשל, אגירת אנרגית שמש (אנרגית רוח לא רלבנטית בישראל) בדרום הארץ והעברתה לצפון הארץ (יש צורך בפרון לדרום הארץ כדי למנוע הפסדי הובלה).

המשמעויות: ישנם הפסדים שכרוכים בהולכת אנרגיה, בנוסף, יש להקים רשת של כבלים מתחת לאדמה.

הטכנולוגיה המדוברת היום בנושא של כבלים, היא על-מוליכות: קירור נחושת ל-4 קלווין יכולה להוביל חשמל בכמעט אפס התנגדות. נחושת היא חומר טוב אבל לקרר אותה ל-4 קלווין זה קשה. ישנם כבלים העשויים ממתכות אחרות שהן סגסוגות של מתכות, היתרון שלהן הוא שכבר ב-170 קלווין רואים את תופעת העל-מוליכות (Superconductivity).

יש לשאול האם זה מתאים לישראל? כבלים אלו מאוד יקרים ודורשים תחזוקה. בארץ אין כל כך מישהו שעוסק בזה. ישנם פתרונות פשוטים וזולים יותר, אף כי פחות יעילים. מערכות הקירור הן יקרות ומסובכות ונדרשת השקעה כספית רבה עבורן.

לפרופ' יאיר עין-אלי יש פעילות בנושא.

אגירת אנרגיה

אנרגיה שאובה – פרויקט במעלה גלבוע של שאיבת אנרגיה בקנה מידה גדול.

אגירה עצמית - net metering. אגירה עודפת של אנרגיה על ידי צרכים פרטיים ומכירתה לרשת החשמל הכללית במקום להשתמש בעצמם. לצרכן הפרטי אין כיום עדיפות כלכלית לצרוך בעצמו את האנרגיה הנאגרת אלא למכור לרשות החשמל.

7.20.6 נספח ו' – סיכום ראיון עם עופר גולדהירש, הרשות לחדשנות

הראיון נערך בתאריך 30.12.2019

ממוסד נאמן: סימה ציפרפל

בנושא של שינוע אנרגיה - נדרש למדוד את עלות השינוע יחסית ליצור מקומי של אנרגיה ע"י תחנות כח אזוריות המונעות גז, אנרגיה מתחדשת או Cogeneration.

קוגנרציה - ייצור חשמל קרוב לבתים באמצעות גנרטורים גדולים. פתרון זה מקטין את הצורך בשינוע חשמל ומאפשר ניצול של פלטות החום לשימושים אחרים כגון חימום בתים ומים חמים.

שינוע אנרגיה במצב של גז יותר יעיל משינוע אנרגיה בכבלי חשמל שינוע של גז לתחנות פרטיות בקרבה למקום הצריכה מהווה פתרון אלטרנטיבי לבעיית שינוע אנרגיה חשמלית בקווי מתח גבוה.

רשת החשמל בארץ היא רשת אמינה מאוד וחברת החשמל הינה בעלת יכולת לספק חשמל ככל הנדרש. חברת החשמל שואפת לשמור על המונופול ביצור והולכת החשמל.

קימת מגמה של רשות החשמל ליצירת הפרדה בין הולכת החשמל לבין יצרני החשמל. ההולכה תתבצע ע"י רשת ארצית, הייצור נעשה בעיקר על ידי חברת החשמל וחברות חשמל פרטיות

הכשל המתמשך בשוק האנרגיה הוא במעבר לאנרגיה ירוקה. בתחום זה יש חסמים שנוצרו ע"י חברת החשמל השואפת לשמור על מעמדה המונופוליסטי ולעיתים התנגדות של ארגונים ירוקים הדואגים לרווחת האדם, הטבע והנוף. (תחנות כוח המייצרות אנרגיה בעזרת רוח פוגמות בנוף וברווחת הציפורים). תשתיות לאגירת אנרגיה שאובה פוגמים בנוף. ניתן להתמודד עם אתגרים אלה תוך פגיעה מינימאלית בסביבה.

אנרגיה שאובה – דרך לשמור אנרגיה במאגר מים גבוה, בזמן עודף באנרגיה. כיום נבנה פרויקט כזה באתר ליד בקיבוץ מעלה הגלבוע. "תעלת הימים" התימרה לתת ערך רב בגלל הפרש הגבהים בין הים התיכון לעמק הירדן.

אגירת אנרגיה של מערכות PV קטנות במצברים בבתים. שיטה המתפתחת אצל יצרנים פרטיים קטנים השואפים למקסם את ערך האנרגיה שהם מיצרים. בדרך כלל לשימוש עצמי ויתכן גם למכירה לרשת. נושא זה עדיין לא מוסדר מבחינת הרגולציה בארץ. היצרנים הביתיים מוכרים כיום את האנרגיה לרשת במחיר אחיד.

החשמל. היתרון של אגירה בבתים הוא שניתן להשתמש בחשמל הנאגר במשך שעות היום לשעות הלילה כאשר מחירי החשמל יקרים יותר. (הנושא קשור לתעריפי החשמל) בדיון בנושא שינוע האנרגיה נדרש להזכיר גם את נושא הרשתות קטנות (microgrid). פתרונות המיקרוגריד מקטינים את הצורך בשינוע ומעלים את אמינות הרשת. גם בתחום זה יש חסמים רגולטוריים המונעים התפתחות מהירה.

אסור לזלזל בחסמים הרגולטוריים. נושא יצור והולכת אנרגיה הוא נושא מורכב הדורש בחינה מעמיקה של פרמטרים רבים. נדרש אולי ארגון טוב יותר של התהליכים כך שניתן יהיה לקדם את הפרויקטים בקצב מהיר וחזוי יותר.

כניסה מסיבית של שימוש ברכב חשמלי תשנה את מערך הדרישות ליצור ושינוע אנרגיה. האנרגיה הנצרכת ע"י רכב חשמלי שקולה לאנרגיה של בית אב. כשמבצעים את החישוב לצפי הביצועים הנדרש מרשת החשמל בהינתן שימוש מסיבי ברכבים חשמליים, מגיעים לכך שהרשת בתצורתה הנוכחית לא תעמוד בדרישות ההולכה ויצור אנרגיה. חלק מהפתרונות לנושא זה הם מיקרו גריד וקוגנרציה קרוב לצרכנים.

נושאים חדשים בתחום האנרגיה הנמצאים בתחילת דרכם:

סוללות קוואנטום - טכנולוגיה מתקדמת, הנמצאת כיום עדיין בחיתוליה, ותהיה המהפכה האמיתית בנושא של סוללות לאגירת אנרגיה.

Organic PV- OPV. PV מחומרים אורגניים. שיטה שתאפשר יצור מאסיבי, זול ויעיל של אנרגיה חשמלית מאור השמש. היעילות כיום של תאי ה OPV נמוכה מה PV אך הדרך המחקרית פתוחה לשיפורים רבים בתחום הכוללים יעילות, צורת השימוש (למשל צביעה של חלונות או קירות) ועוד.

תאי דלק מימניים להנעת רכבים חשמליים. תהליך יצור נקי של אנרגיה. מימן קל יחסית לשינוע ואחסון. מדברים על טכנולוגיה זו כתחליף עתידי למצברים ברכבים החשמליים. הטכנולוגיה נמצאת בניסויים אצל יצרניות רכב מובילות.

Supercapacitors טכנולוגיה המאפשרת יצירת זרם התנעה חזק בנפח יחסית קטן. טכנולוגיה מתפתחת המאפשרת החלפת חלק מהמצברים ברכבים כבדים. בארץ קיים מפעל מוביל בטכנולוגיה זו ליצור Supercapacitors למשאיות.

7.21 מקורות

- פרופ' גרשון גרוסמן, יגאל עברון. (2015). פורום אנרגיה 35: אגירת אנרגיה בייצור חשמל. מוסד שמואל נאמן. אוחרז מתוך: <https://www.neaman.org.il/EF35-Energy-Storage-Electricity-Production-HEB>
- פרופ' גרשון גרוסמן, נעמה שפירא. (2019). פורום אנרגיה 47: מערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה לייצור חשמל מאנרגיית השמש. מוסד שמואל נאמן. אוחרז מתוך: <https://www.neaman.org.il/Energy-Forum-47-Combined-Photovoltaic-and-Storage-Systems-to-Produce-Electricity-From-Solar-Energy>
- ד"ר דפנה גץ, ציפי בוכניק, ורד גלעד, סימה ציפרפל. (2019). תחזיות טכנולוגיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי. מוסד שמואל נאמן. אוחרז מתוך: <http://www.neaman.org.il/Technological-forecasting-for-scientific-and-technological-human-resources-2019>
- הרשות לחדשנות. חדשנות בישראל תמונת מצב 2018-19. דו"ח רשות החדשנות. אוחרז מתוך: https://innovationisrael.org.il/sites/default/files/pdf_1.pdf
- משרד האנרגיה. אוקטובר 2018. יעדי משק האנרגיה לשנת 2030. אוחרז מתוך: https://www.gov.il/BlobFolder/news/plan_2030/he/2030summary.pdf
- A National Hydrogen Roadmap. 2018. Pathways to an economically sustainable hydrogen industry in Australia. Retrieved from: <https://www.csiro.au/en/Do-business/Futures/Reports/Energy-and-Resources/Hydrogen-Roadmap>
- AESO (2018). Dispatchable Renewables and Energy Storage. Retrieved from: <https://www.aeso.ca/assets/Uploads/AESO-Dispatchable-Renewables-Storage-Report-May2018.pdf>
- Afif, A., Rahman, S. M., Azad, A. T., Zaini, J., Islan, M. A., & Azad, A. K. (2019). Advanced materials and technologies for hybrid supercapacitors for energy storage—a review. *Journal of Energy Storage*, 25, 100852.
- Andolina, G. M., Keck, M., Mari, A., Giovannetti, V., & Polini, M. (2019). Quantum versus classical many-body batteries. *Physical Review B*, 99(20), 205437.
- Bcc Research. (2018). Merchant Hydrogen: Industrial Gas and Energy Markets December 2018.
- Bcc Research. (2019). Residential Energy Storage, Blockchain and Energy Sharing Systems: Technologies and Global Market, February 2019.
- Bcc Research. 2019. Lithium Batteries: Markets and Materials May 2019.
- Bcc Research. (2019). Electric Vehicles and Fuel Cell Vehicles: Global Markets to 2024, November 2019.
- Bloomberg. (2019). Retrieved from: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-04-03/battery-reality-there-s-nothing-better-than-lithium-ion-coming-soon>
- BloombergNEF. (2019). Retrieved from: <https://about.bnef.com/blog/will-the-real-lithium-demand-please-stand-up-challenging-the-1mt-by-2025-orthodoxy/>
- Bold Business. (2018). Retrieved from: <https://www.boldbusiness.com/energy/lithium-batteries-make-cobalt/>

- EnergyStartups. (2019). (accessed on December 2019). Retrieved from: <https://www.energystartups.org/>
- European Commission (2017). Support to R&D Strategy and accompanying measures for battery-based energy storage, Roadmap for R&I and accompanying measures 2018-2027 and short-term prioritization. Retrieved from: https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/roadmap_for_ri_and_accompanying_measures_2018-2027.pdf
- Ferraro, D., Campisi, M., Andolina, G. M., Pellegrini, V., & Polini, M. (2018). High-power collective charging of a solid-state quantum battery. *Physical review letters*, 120(11), 117702.
- GET.invest (2019). Global Market Outlook for Solar Power / 2019-2023. Retrieved from: <https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2019/07/SolarPower-Europe-Global-Market-Outlook-2019-2023.pdf>
- Global Market Insights Inc. (2018). Retrieved from: <https://www.gminsights.com/>
- GTM Research. (accessed on December 2019). Retrieved from: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/europe-set-to-race-past-us-in-battery-manufacturing#gs.th60zy>
- Horizon 2020 (2019). Future and Emerging Technologies, Work Programme 2018-2020. Retrieved from: https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2018-2020/main/h2020-wp1820-fet_en.pdf
- Horn, M., MacLeod, J., Liu, M., Webb, J., & Motta, N. (2019). Supercapacitors: A new source of power for electric cars? *Economic Analysis and Policy*, 61, 93-103.
- IDTechEx. (2019). Supercapacitors market - Growth, Trends, and Forecast (2019 - 2024). Retrieved from: <https://www.idtechex.com/en/research-report/supercapacitors-applications-players-markets-2020-2040/661>
- iea organization. (2019). Retrieved from: <https://www.iea.org/tcep/energyintegration/energystorage/>
- International banker. (2019). Retrieved from: <https://internationalbanker.com/brokerage/why-have-cobalt-prices-crashed/>
- Inverse. (2019). (accessed on December 2019). Retrieved from: <https://www.inverse.com/article/58390-solar-power-collecting-paint-could-hit-the-sides-of-buildings>
- Kafle, T. R., Kattel, B., Yao, P., Zereshki, P., Zhao, H., & Chan, W. L. (2019). Effect of the Interfacial Energy Landscape on Photo-induced Charge Generation at the ZnPcMoS₂ Interface. *Journal of the American Chemical Society*.
- Liu, Y., Sun, Q., Li, W., Adair, K. R., Li, J., & Sun, X. (2017). A comprehensive review on recent progress in aluminum–air batteries. *Green Energy & Environment*, 2(3), 246-277.

- Liu, J., Segal, D., & Hanna, G. (2019). Loss-Free Excitonic Quantum Battery. *The Journal of Physical Chemistry C*, 123(30), 18303-18314. Retrieved from: <https://www.ualberta.ca/science/news/2019/october/new-quantum-battery-research>
- Markets and Markets. (2016). Retrieved from: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/supercapacitor-market-37140453.html?gclid=Cj0KCQiA89zvBRDoARIsAOIePbCpRgXPHTHLd9JTpRkhSPm439sohsfYPLw6LaUQX06_uuSqh63J4IMaAq8WEALw_wcB
- Market Research. (2019). Retrieved from: <https://www.psmarketresearch.com/market-analysis/automotive-lithium-ion-battery-market>
- Microgrid Knowledge. (accessed on November 2019). Retrieved from: <https://microgridknowledge.com/supercapacitor-based-energy-storage/>
- Motor Intelligence. (2019). Retrieved from: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/lithium-ion-Battery-market?gclid=CjwKCAiAluLvBRASEiwAAbX3GbvAbukYYivRHJFIQftUxKZclKhRXpTZQnf6gMR9XxYaWR5mYUXpRoCE5sQAvD_BwE
- National Renewable Energy Laboratory 2014. IEEE 1547 and 2030 Standards for Distributed Energy Resources Interconnection and Interoperability with the Electricity Grid. Retrieved from: <https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/63157.pdf>
- Navigant Research. (October 2019). Retrieved from: <https://www.navigantresearch.com/news-and-views/is-2020-the-year-of-solid-state-batteries-for-evs>
- Navigant Research. (November 2019). Retrieved from: <https://www.navigantresearch.com/news-and-views/annual-added-capacity-from-distributed-energy-storage-systems-worldwide-is-expected-to-grow-nearly-t>
- Raza, W., Ali, F., Raza, N., Luo, Y., Kim, K. H., Yang, J., ... & Kwon, E. E. (2018). Recent advancements in supercapacitor technology. *Nano Energy*, 52, 441-473.
- Research and Markets. (accessed on December 2019). Retrieved from: <https://www.researchandmarkets.com/>
- Reuters. (2019). Retrieved from: <https://www.reuters.com/article/us-cobalt-prices-electric/cobalts-price-crash-bottoming-out-stocks-to-hinder-quick-rally-idUSKCN1Q11EP>
- Skeletontech.com. (accessed on November 2019). Retrieved from: <https://www.skeletontech.com/ultracapacitor-technology>
- Statista. (2019). Projected lithium ion battery market size worldwide. Retrieved from: <https://www.statista.com/statistics/235316/global-lithium-battery-market/>
- T&D World. (2019). (accessed on December 2019). Retrieved from: <https://www.tdworld.com/smart-utility/article/20972941/the-top-utility-regulatory-trends-in-2019>
- The European Association for Storage of Energy – EAS. (2019). Retrieved from: <http://ease-storage.eu/category/publications/emmes/>

- The Institute for Energy Economics and Financial Analysis (IEEFA). (accessed on December 2019). Retrieved from: <https://ieefa.org/>
- The U.S. Energy Storage Association (ESA). (accessed on November 2019). Retrieved from: <https://energystorage.org/>
- The World Bank. (2019). Retrieved from: <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2019/05/16/four-things-you-should-know-about-battery-storage>
- U.S. Energy Department. (accessed on December 2019). Retrieved from: <https://www.energy.gov/science/bes/articles/future-batteries-hybrid-supercapacitors-are-super-charged>
- Venkatesh, B. (2018, August). Thermal energy storage for homes. In *2018 IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE)* (pp. 36-39). IEEE.
- World Economic Forum. (2019). Top 10 Emerging Technologies 2019. Retrieved from: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Top_10_Emerging_Technologies_2019_Report.pdf
- World Economic Forum. (2018). <https://www.weforum.org/agenda/2018/08/chart-of-the-week-a-bumpy-road-ahead-for-electric-cars/>

תודתנו לעופר גולדהירש ופרופ' גרשון גרוסמן על הראיונות שערכנו איתם בנושא.

8.1 שינוע אנרגיה - רקע

מודל חלוקת האנרגיה במאה העשרים יושם על ידי הקמת תחנות כוח גדולות המונעות על ידי פחם או גז והחשמל הופץ באמצעות רשת מרכזית. ההתקדמות הטכנולוגית של המאה העשרים ואחת יוצרת מקורות חדשים לייצור אנרגיה המגוונים ומבזרים את רשת החשמל. אבל הביקוש ההולך וגובר לאספקת חשמל סדירה ואמינה, בעיקר בזמני שיא, גורם לחוסר ודאות לגבי האמינות ביכולתה של רשת חשמל לעמוד בביקוש הזה.

ברחבי העולם מתמודדים עם שינויים מהותיים בנושא אספקת אנרגיה. הציפיות של הצרכנים הולכות וגוברות, ההתקדמות הטכנולוגית וכוחות הרגולציה והשוק משנים את סדרי עדיפויות עבור ספקים. השוק המתפתח יוצר אתגר אסטרטגי לספקי השירותים. השאיפה לשימוש בשיטות באנרגיות מתחדשות ואנרגיה נקייה יחד עם הדרישה הגוברת לאספקת חשמל, בנייה של מתקני ייצור מבזרים והצורך באספקה מהירה, אמינה ובטוחה גוררת את הצורך לשינוע מהימן ומהיר של מקורות אנרגיה.

לדוגמה, באיחוד האירופי נערך מחקר בין השנים 2012-2015 ששמו E-HIGHWAY2050 שכלל תמיכה בתכנון מערכת החשמל האירופית. אחד מהתוצרים של הפרויקט הוא זיהוי של "electricity highways", דרכים מהירות להולכת חשמל שידרשו ב-2050 ככלי לסיוע בהחלטות השקעה בשנים הבאות. נבחרו חמישה תרחישים הכוללים מגוון רחב של אפשרויות והמתבססים על המטרה להפחתת פליטת CO₂ ב-95%. תרחישים אלו מדגישים את החשיבות של חיבורי חשמל בכמויות גדולות באורך של מאות קילומטרים ברשת האירופית, והצורך בהקמת מסדרונות נוספים (corridors) של הולכת חשמל בעלי נפח של 5-20 ג'יגה-וואט¹⁵².

בפרק זה נסקור שינוע של שני מקורות אנרגיה הנדרשים בהווה ובעתיד: שינוע מימן והולכת חשמל באמצעות כבלים תת-קרקעיים. בנוסף, נסקור שיטה להולכת חשמל השונה משיטות שינוע קונבנציונליות: הולכה אלחוטית.

8.2 שינוע של מימן

היעד שנקבע להפחתת פליטת הפחמן (decarbonizing) אינו אפשרי בתעשיית האנרגיה הקיימת בשל הסתמכות המוחלטת של הכלכלה על החשמל לחום, לתעשייה ולתחבורה. לעומת זאת, לגז המימן יש פוטנציאל ארוך טווח להיות התוסף האידיאלי כנשא אנרגיה מגוון ורב-תכליתי, המשלים לחשמל מאנרגיה מתחדשת ולספק פתרונות להפחתת פליטת פחמן בעיקר בסקטורים בהם מתקשים לעמוד ביעד, כמו תעשייה כבדה ותחבורה.

השימוש במימן נקי נהנה מתנופה פוליטית ועסקית חסרת תקדים, כאשר מספר המדינות והפרויקטים ברחבי העולם הפועלים בתחום מתרחבים במהירות. שתי התפתחויות עיקריות תרמו לצמיחת השימוש המימן בשנים האחרונות: עלות אספקת המימן מאנרגיות מתחדשות במגמת ירידה רציפה, בעוד שהדחיפות להפחתת פליטת גזי חממה עולה (IRENA, 2019).

אימוץ השימוש במימן בממדים מסחריים ותפקידו כמקור אנרגיה מוצלח מסתמך על פתרונות תשתית ואגירה: נקודות ייצור, מערכות הולכה והפצה ורשתות תדלוק. שינוע המימן צריך לענות על הדרישה לאספקה ממקום הייצור עד לנקודת השימוש הסופית, תחנת תדלוק או אתר חשמל ניח. רוב המימן בארה"ב למשל, מיוצר במקום הביקוש למימן (או קרוב אליו), בדרך כלל באתרים תעשייתיים גדולים. תשתיות לייצור והעברה של

¹⁵² <https://cordis.europa.eu/project/rcn/106279/reporting/en>

מימן כבר קיימות, וכמה חברות אמריקאיות מספקות כיום מימן בכמויות גדולות, אך הן לא מספקות כדי לתמוך בשימוש נרחב של צרכנים. החלק העיקרי של תשתיות אלו לא מיועד למימן כמוביל אנרגיה אלא כחומר גלם. פריסת רשת מימן דורשת בנייה של תשתיות חדשות או שימוש חוזר בתשתיות קיימות (US Department of Energy, 2019). תשתיות אלו צריכות לענות על כמה פרמטרים (The World Energy Council, 2019; US Department of Energy, 2019):

- נקודות ייצור: סוג התשתית וגודלה יהיו תלויים במסלול הייצור ויעדי האספקה.
- הובלה: כלי קיבול למימן, מיכלים, צינורות ומשאיות לאספקה למרחקים ארוכים של מימן נוזלי או דחוס.
- העברה (Transmission): מערכת של קווי צינורות לאגירה ולהעברה של המימן לנקודות ההפצה.
- תחנות תדלוק: בעיקר לתחבורה.
- הפצה: מערכת צינורות לאספקה של מימן למשתמשי קצה (למשל, לחימום ביתי).

יצירת תשתית להפצת ואספקה של מימן לאלפי תחנות תדלוק עתידיות מציבה אתגרים רבים מכיוון שבמימן יש פחות אנרגיה ליחידת נפח מאשר דלקים אחרים לכן ההובלה, האחסנה וההעברה עד לנקודת השימוש הסופית היא יקרה יותר מאשר בנזין. בניית תשתית של רשת מימן חדשה כוללת עלויות ראשוניות גבוהות מאוד גם בגלל שתכונות המימן מציבות אתגרים ייחודיים לגבי החומרים מהם עשויה הצנרת ושיטות דחיסה. יחד עם זאת, מכיוון שאפשר לייצר מימן ממגוון רחב של משאבים, ייצור מימן אזורי או אפילו מקומי יכול למקסם את השימוש במשאבים המקומיים ולמזער את אתגרי ההפצה (US Department of Energy, 2019).

הפצה של מימן נעשית בשלוש שיטות עיקריות (US Department of Energy, 2019):

1. הפצה באמצעות צינורות (pipelines) - שיטה זולה להעברה של כמויות גדולות של מימן דחוס, בין היתר, לשימוש ולהפצה מבוזרת (National Hydrogen Roadmap, 2018). אבל שיטה זו מוגבלת. בארה"ב יש כיום רק כ- 2,570 ק"מ של צינורות לאספקת מימן הנמצאים ליד בתי זיקוק גדולים ומפעלים כימיים באילינוי ובקליפורניה. הובלת המימן באמצעות צינורות נעשית בשת דרכים (National Hydrogen Roadmap, 2018): 1. באמצעות העשרת מתאן: הזרקת מימן לצינורות קיימים של גז טבעי. 2. הובלה של 100% מימן באמצעות צינורות חדשים או קיימים.

להפצה באמצעות צינורות יש יתרונות נוספים (National Hydrogen Roadmap, 2018):

1. שיפור אספקת הגז: המימן יכול לספק הזדמנות לקזז את הדרישה לגז.
2. התלכדות של רשת החשמל והגז: המימן מיעל את ייצור האנרגיה המתחדשת על ידי הזנתה לאספקת הגז בזמני ביקוש שיא.
3. אגירה של אנרגיה: צינורות הגז מספקים אפשרות נוספת להעברה של מימן.
4. מניעת פחמן רשת הגז (decarbonization): הזרקה של מימן בצינורות הגז הטבעי מגדילה את מניעת הפחמן ברשת.

הובלה של 100% מימן בצינורות מעלה בעיות של עמידות הצינורות מפני שבירה כתוצאה מלחץ ההפעלה והחומר ממנו עשויים הצינורות. בעוד שהסיכון לשבר גבוה יותר ברשת ההולכה בגלל לחצי הפעלה מוגברים, צינורות פלדה וסיבי פלסטיק מחוזקים (fiber reinforced polymer - FRP) מסוגלים להכיל מימן בלחצים של 70-105 בר¹⁵³. בצורה זו, הסיכון לשבירה יופחת משמעותית ברשת חלוקת הגז הביתית, בה הלחצים נעים בין 1-7 בר¹²⁸. פוליאתילן בצפיפות גבוהה צפוי להיות החומר המועדף לייצור הצינורות להעברת מימן בו זמנית לכמה נקודות הפצה (National Hydrogen Roadmap, 2018).

¹⁵³ בר (bar) היא יחידת מידה של לחץ השווה למיליון דין לסנטימטר רבוע (100 אלף פסקל).

2. צינורות נגררים בלחץ גבוה (High-Pressure Tube Trailers) - הובלת גז מימן דחוס באמצעות צילינדרים ארוכים המוערמים על נגרר של משאית. ניתן להוביל גז מימן דחוס יכולה באמצעות משאיות, רכבות, אוניות או דוברות באמצעות נגררים. שיטה זו יקרה ומשמשת בעיקר כאשר צריך לשנע את המימן למרחקים קצרים של 200 מיילים (כ- 300 ק"מ) או פחות (US Department of Energy, 2019).

3. מכליות מימן נוזלי - נזילה קריוגנית היא תהליך שמקרר את המימן לטמפרטורה בה הוא הופך לנוזל. אף על פי שתהליך הניזול הוא יקר, הוא מאפשר להעביר את המימן ביעילות רבה יותר (בהשוואה לשימוש בצינורות נגררים בלחץ גבוה) למרחקים גדולים יותר על ידי משאית, רכבת, אוניה או דבורה. אם לא משתמשים במימן הנוזלי בקצב גבוה מספיק בנקודת הצריכה, הוא מתאדה מכלי הקיבול שלו. עובדה זו מחייבת להתאים בקפידה את שיעורי צריכת המימן (US Department of Energy, 2019).

טבלה 15 מסכמת את שיטות השינוע של מימן (National Hydrogen Roadmap, 2018):

טבלה 15: שיטות לשינוע מימן

שיטה	שיטת אחסון	מתאים למרחקים של
משאיות	מימן דחוס מימן נוזלי אמוניה	מתאים למרחקים הקטנים מ- 1000 ק"מ. מימן דחוס ומימן נוזלי מועברים בדרך כלל למרחקים הגדולים מ- 300 ק"מ.
רכבת	מימן דחוס מימן נוזלי אמוניה	מתאים למרחקים של 800-1100 ק"מ
צנרת	מימן דחוס	מתאים למרחקים של 1000-4000 ק"מ. מתאים יותר להפצה בזמנית למספר נקודות הפצה
ספינות	מימן נוזלי אמוניה	מתאים למרחקים גדולים של מעל 4000 ק"מ

למיקום ייצור המימן יש השפעה רבה על ההעברה ועל שיטת ההעברה הטובה ביותר. לדוגמה, מתקן ייצור גדול ומרכזי של מימן יכול לייצר מימן בעלות נמוכה הודות לייצור כמות גדולה יותר אבל עלויות האספקה גדולות יותר בשל מרחק גדול יותר של נקודת האספקה. לשם השוואה, מתקני ייצור מבזרים מייצרים מימן באתר ולכן עלויות האספקה נמוכות יחסית, אך עלות ייצור המימן עשויה להיות גבוהה יותר מכיוון שנפחי הייצור קטנים יותר (US Department of Energy, 2019).

מימן גזי ומימן נוזלי

המימן הוא לא רק היסוד הקטן ביותר בכדור הארץ אלא גם הקל ביותר. מסה אחת של ליטר בנזין היא בערך 2.75 ק"ג ואילו המסה של גלון אחד (כ- 3.8 ליטר) של מימן היא 0.00075 ק"ג בלבד (בלחץ של 1 אטמוספירה ו-0°C). לכן, כדי להעביר כמויות גדולות של מימן, יש להעבירו כגז דחוס או כמימן נוזלי.

מימן תעשייתי נקנה כנוזל או כגז דחוס, כאשר הבחירה נקבעת בדרך כלל על ידי הביקוש. למשתמשים גדולים הסכומי יותר לאגור אספקה של מימן נוזלי לשבוע ולאדות אותו לגז לפי הצורך. לצרכנים קטנים עדיף משלוח מימן גזי במצב דחוס. עלויות השינוע כוללות את עלות המימן המסופק ואת ההון הנדרש לאחסון ואידוי המימן לגז. המימן הנוזלי מתאדה לאורך זמן. כדי למזער את הפסדי האידוי נדרש שינוי גודל של מיכלי האחסון ותכנון עיתוי ההעברה (Bcc Research, 2018).

שינוע של מימן גזי

מימן גזי מועבר בדרך כלל באמצעות משאיות בעלי צינורות נגררים (Tube Trailers). את המימן הגזי יש לדחוס אותו לפני ההובלה. רוב המדחסים שמשמשים בהם היום לדחיסת מימן גזי הם מדחסי תזוזה (positive displacement compressors) או מדחסים צנטריפוגליים (centrifugal compressors). מדחסי תזוזה הדדיים (reciprocating) או סיבוביים (rotary) הם השכיחים ביותר לשימוש ביישומים הדורשים יחס דחיסה גבוה מאוד. אלטרנטיבות לדחיסה מכנית שנמצאות כיום בשלב המחקר והפיתוח הן

מדחסים אלקטרוכימיים (Electrochemical compressors) העושים שימוש בתגובות אלקטרוכימיות, מתכות הידרידיות ונוזלים יוניים.

נגררי צינורות כאלה משמשים כיום להעברת גז טבעי דחוס למרחקים ארוכים. המימן הגזי נדחס ללחצים של 180 בר ומעלה לתוך צילינדרים ארוכים המוערמים על הנגרר שהמשאית גוררת. התקנות בארה"ב מגבילות את ה- Tube trailers ל- 250 בר. צינורות הפלדה הנגררים כבדים מאוד ובארה"ב יש הגבלת משקל של כ- 280 ק"ג לצינורות אלו. לאחרונה פותחו כלי אחסון מורכבים שיכולים להכיל 560–720 ק"ג מימן לנגרר. כתוצאה מהפיתוחים האחרונים של המיכלים, אפשר לשאת בהם כמויות גדולות של גז מימן בלחץ גבוה, כך שיהיה ניתן להעביר מימן ברכבות או בספינות (US Department of Energy, 2019).

שינוע מימן גזי באמצעות צינורות (Pipelines): שיטת שינוע דומה לזו המשמשת להעברת גז טבעי. העברה של מימן גזי באמצעות צינורות היא אפשרות זולה להעברת נפחים גדולים של מימן אולם עלויות ההון הראשוניות הגבוהות בבניית צנרת חדשה מהוות חסם משמעותי להרחבת תשתית זו. המחקר כיום מתמקד אפוא בהתגברות על חששות טכניים הקשורים להעברת צנרת: פוטנציאל המימן לריסוק הפלדה והריתוכים המשמשים לייצור צינורות; הצורך לשלוט על חדירת מימן ודליפות; הצורך בטכנולוגיית דחיסת מימן בעלות נמוכה יותר, אמינה ועמידה יותר (US Department of Energy, 2019).

קיימים כמה פתרונות לבעיות הנובעות משינוע באמצעות צינורות:

- שימוש בצינורות עשויים פולימר מחוזק סיבים (fiber reinforced polymer - FRP) להפצת מימן. עלויות ההתקנה עבור צינורות אלו נמוכות בכ- 20% מעלויות צינורות הפלדה. בנוסף, צינורות אלו ארוכים יותר מצינורות פלדה ולכן נדרש פחות ריתוך בין הצינורות.

- התאמה של חלק מהתשתית להעברת גז טבעי כך שתתאים למימן. התאמה זו דורשת להמיר את הצינורות לנשיאת תערובת של גז טבעי ומימן (עד כ- 15% מימן). גישה זו מבטיחה יתרונות כלכליים, לוגיסטיים וסביבתיים, לפחות בטווח הקצר. לשם כך נדרשים שינויים מעטים בלבד בצנרת. אבל המרה של צינורות גז טבעי קיימים להעברה של מימן דורשת שינויים מהותיים יותר. מצד שני, ניתן לבנות צינורות הולכה חדשים, המשרתים גם תחנות תדלוק (The World Energy Council, 2019).

שינוע של מימן נוזלי (US Department of Energy, 2019): המימן מועבר לרוב כנוזל כשאין צינורות וכאשר נדרשת הובלה בנפח גבוה. כדי להמיס מימן יש לקרר אותו לטמפרטורות קריוגניות בתהליך של ניזול (liquefaction) (מימן גזי מומס באמצעות קירור אל מתחת ל- -253°C). לאחר שהמימן מומס ניתן לאגור אותו במכלים גדולים מבודדים. על מנת לנזל מימן נדרשת אנרגיה. תהליך הניזול יקר וצורך יותר מ- 30% מתכולת האנרגיה של המימן. בנוסף, כמות מסוימת של מימן מאוחסן תאבד בשל אידיוי, או "הרתיחה" של מימן נוזלי, במיוחד כאשר משתמשים במיכלים קטנים עם יחס גדול בין שטח לנפח. מחקרים לשיפור טכנולוגיית ניזול, כמו גם לשיפור יתרונות הגודל, עשויים לעזור להוריד את האנרגיה הנדרשת ואת העלות.

כיום, בהעברה של מימן למרחקים גדולים, המימן מועבר כנוזל במיכליות קריוגניות על משאיות סופר-מבודדות. לאחר תהליך הניזול, המימן הנוזלי מועבר למיכליות מועבר להפצה באתרים שבהם הוא מתאדה למוצר גז בלחץ גבוה המיועד לחלוקה. מיכליות אלו כלכליות יותר מאשר מימן גזי כאשר יש צורך להעביר מימן למרחקים גדולים, מכיוון שמיכלית נוזל יכולה להחזיק מסה הרבה יותר גדולה של מימן מכפי שנגרר צינור גזי יכול (National Hydrogen Roadmap, 2018).

פתרונות נוספים לשינוע מימן:

שינוע מימן באמצעות מנשאי מימן (Novel hydrogen carriers) (US Department of Energy, 2019): מנשאי מימן האוגרים מימן במצב כימי אחר מאשר כמולקולות מימן חופשיות. המנשאים הם דרך ייחודית להעביר מימן על ידי תהליך של hydriding (תהליך של הפחתת עפרות למתכת על ידי טיפול במימן בטמפרטורה גבוהה) של תרכובת כימית באתר הייצור ולאחר מכן ייבושה בנקודת המסירה או ברגע שהיא נמצאת על תא הדלק של הרכב. שיטה זו של העברת מימן נמצאת עדיין בשלבים המוקדמים של מחקר ופיתוח, ועד כה לא הוכח שהיא יעילה או חסכונית. מנשאים פוטנציאליים כוללים מתכות הידרידיות (metal

(hydrides), פחמן או ננו-מבנים אחרים, נמצאים בשלבים המוקדמים של המחקר. שימוש במנשאים חדשים כאלו יכול להוות דרך השונה משמעותית מאופן העברת דלקים לתחבורה כיום.

שינוע מימן למרחקים ארוכים בצורה של אמוניה - פתרון נוסף הוא העברה של מימן בצורה של אמוניה. יפן מפתחת טכנולוגיה הקשורה למימן נוזלי שאפשר להעבירו בכלי קיבול מיוחדים בעלי קיבולת של 1250m^3 . המשלוח הראשון אמור לצאת בסוף 2020. אולם הבעיה בשימוש באמוניה היא הצורך להמירה בחזרה למימן לפני השימוש (The World Energy Council, 2019).

חלוקת דלק מימן לרכבים - אחד מהיישומים המבטיחים של מימן הוא בסקטור התחבורה. האתגר העיקרי הוא בתחנות תדלוק של מימן. האתגר מייצג מצב קלאסי של "ביצה-תרנגולת" שבו אימוץ של רכבים חשמליים עם תאי דלק (FCEVs – fuel cell electric vehicles) דורש זמינות של רשת תחנות תדלוק. אבל על מנת שתהיה השקעה בתחנות התדלוק יש צורך בביקוש לכך. שיתוף פעולה עם חברות שמן וגז הוא קריטי לעניין זה. לחברות אלו יש נכסים, משאבים, לוגיסטיקה ורשתות לניהול ההעברה העשויים להועיל לכל הצדדים בשרשרת הערך (The World Energy Council, 2019). האמצעי הטכנולוגי שנמצא כיום בשימוש לאחסון מימן על רכבים משפיע באופן ישיר על התכנון והבחירה של מערכת ההפצה והתשתית. אחד מהאתגרים הגדולים ביותר לחלוקה מסחרית של מימן קשור למדידה המדויקת של המימן המועבר. אתגרים נוספים כוללים נפח יצרני נמוך והיעדר סטנדרטיזציה של רכבים. מחלקת האנרגיה בארה"ב ממנת מחקרים לאפיון הביצועים ומאפייני החומרים של צינורות תדלוק מימן לאחר שימוש ממושך (US Department of Energy, 2019). הנעה מימנית לרכבים היא טכנולוגיה הנמצאת עדיין בשלבי מעבדה. יהיה צורך לבחון האם היא מספיק טובה על מנת להחליף הנעה רגילה⁷¹.

פוטנציאל שוק של מימן למסחר (Bcc Research, 2018):

מכליות נוזל לשינוע מימן מהוות 90% מנתח השוק העולמי וחולשות על אספקת המימן בשוק המסחר. נגררים לצינורות גז דחוסים מהווים 7% מנתח השוק העולמי וגלילי גז דחוסים מהווים 3% מנתח השוק העולמי (Bcc Research, 2018).

ייצור המימן העולמי הוערך ב- 113.2 MMT^{154} ב-2017, מתוכם רק 8.1 MMT הם מימן למסחר (Bcc Research, 2018). במחקר שנערך לאחרונה נמצא כי שוק גז המימן צפוי לחוות צמיחה שנתית ממוצעת של מעל ל- 5% בין השנים 2019-2024 (Mordor Intelligence, 2019). מחקר של ה- Bcc Research הראה שקצב הצמיחה העולמי של מימן למסחר הוא 6.5% בשנה בממוצע וצפוי להגיע עד ל- 11.8 MMT^{129} ב-2023. היצור השנתי של מימן למסחר בארה"ב היה מעל ל- 4.5 MMT^{129} ב-2017, כחצי מהיצור העולמי. צפון אמריקה שולטת בשוק גז המימן הודות לשימוש בטכנולוגיות חדשניות ורגולציות ממשלתיות רצויות המקדמות את השימוש במימן באזור זה (Mordor Intelligence, 2019). הצפי הוא שקצב הצמיחה השנתי של ייצור מימן למסחר בארה"ב יגדל ב- 6.9% ויגיע עד ל- 6.8 MMT^{129} ב-2023. באירופה, לעומת זאת ייצור המימן למסחר נמוך יותר ועמד על 2.19 MMT^{129} ב-2017 עם צפי לגידול של 3.05 MMT^{129} ב-2023. בסין ייצור המימן למסחר נמוך ועמד על 0.48 MMT^{129} ב-2017 עם צפי של 0.81 MMT^{129} ב-2023 (Bcc Research, 2018). הגורמים העיקריים המניעים את צמיחת השוק הם דרישה גוברת של תאי דלק מימן ודרישה גוברת לעשיית הכימיקלים (Mordor Intelligence, 2019).

8.3 העברת חשמל באמצעות כבלים תת-קרקעיים

רשתות החשמל משתרעות על פני מרחקים גדולים ונפרסות במשך עשרות שנים על ידי חברות חשמל. החשמל מיוצר בתחנות כוח או יחידות ייצור בהן צורה של אנרגיה ראשונית מומרת לחשמל. החשמל מועבר מהרשת מאזור אחד של המדינה לאזור אחר באמצעות מערכות ההעברה/שידור (Transmission), חשמל המגיע מתחנות ייצור נישא באמצעות מערכות שידור המבוססות על קווי הולכה המעבירים כוח חשמלי ברמות

¹⁵⁴ טונה (Tonne) אחת שווה לאלף קילוגרם. היחידה מכונה בארצות הברית טון מטרי (Metric ton). million metric tons. (MMT) = 1,000,000,000 ק"ג.

שונות של מתח. לרוב מדובר בתשתית בעלת קווי חשמל מרובים המקשרים בין תחנות שונות, שמשנות רמות מתח ומציעות יתרונות (redundancy) משופרת (EEP, 2017).

תהליך אספקת החשמל: תחנות הכוח מייצרות חשמל המועבר לצרכנים באמצעות קווי חשמל. קווי מתח גבוה מוליכים חשמל על פני מרחקים ארוכים. חשמל במתח נמוך הוא בטיחותי לשימוש בבתים ובמבני עסקים. לרשת החשמל אתגרים כגון שדרוג והחלפת קווי חשמל ישנים. נדרשת הקמה של קווי חשמל חדשים כדי לשמור על אמינותה הכללית של מערכת החשמל וכדי לספק קישורים למשאבים חדשים לייצור אנרגיה מתחדשת, כמו אנרגיית רוח ושמ, אשר לרוב ממוקמים הרחק מהמקום בו מרוכז הביקוש לחשמל. בנוסף, יש צורך בהגנה על הרשת מפני התקפות פיזיות וסייבר (eia, 2019).

תחום האנרגיה עובר תקופה של שינויים משמעותיים ומהירים, החל מהאופן בו אנרגיה מופקת ומועברת ועד האופן בו היא נצרכת. השינויים מונעים משלוש מגמות עיקריות (National Grid, 2018):

- הפחתה של פליטת פחמן (Decarbonisation) - המעבר לעתיד בו יש פחות פליטה של פחמן משנה את אופי מערכת החשמל במהירות. בבריטניה, למשל, משק החשמל הוביל את המעבר הזה עם ירידה של 60% בפליטות גזי החממה בארבע השנים האחרונות בלבד. במבט לעתיד, לרשת החשמל תפקיד ניכר בפירוק הפחמן.

- ביזור - באופן מסורתי, חשמל הזורם ממקור גדול נהנה מכל יתרונות הגודל. ההתקדמות הטכנולוגית בשנים האחרונות לצורות ייצור קטנות יותר ומבוזרות, למשל, אנרגיה סולארית, הובילה לשינויים משמעותיים בדפוס היצע והביקוש. כמויות גדולות יותר של חשמל מיוצרות קרוב יותר למקום בו הוא נצרך ורשתות ההפצה ממלאות תפקיד פעיל יותר בניהול אספקת החשמל.

- דיגיטליזציה (Digitalisation) - העולם הופך מחובר יותר ויותר, מעצים את הצרכנים ומשבשש מודלים עסקיים מסורתיים כמעט בכל תחום, כולל בתחום האנרגיה.

לכן, אנו נדרשים למודלים עסקיים חדשים המנצלים אספקת חשמל חכמה: עלייה בשימוש בחיישנים, איסוף נתונים וניתוחם שישנו את אופן צריכת החשמל ויגדילו את הגמישות של הביקוש ותנודתיות.

מגמות עיקריות לאספקת חשמל (National Grid, 2018):

- משנת 2020 ואילך נצפה בביקוש יורד מרשת החשמל הכללית בשעות השיא כתוצאה מיעילות אנרגטית גבוהה יותר ועלייה בייצור מבוזר (ייצור חשמל קרוב למקום בו הוא נצרך). דרישות המערכת הבסיסית יתאוששו ב-2030 כתוצאה מהרחבת השימוש בתחבורה חשמלית.

- שינויים בצורת האספקה, ביזור מערכת החשמל והחיבורים בין המערכות השונות.

- קיצוניות גדולה יותר בזרימת החשמל הופכת לנורמה ויש צורך לנהל את התנודתיות הזו. שינויים מהירים בתפוקת חשמל מסוגים שונים של מקורות ייצור.

- אתגרי תפעול המונעים מהגידול בייצור תקופתי ומהמיקום המשתנה שלו. אתגרים אלו משפיעים על היקף ההשקעה ברשת החשמל בעשורים הבאים.

העברת החשמל יכולה להיעשות באמצעות קווים עיליים או תת-קרקעיים ובאמצעות סוגים שונים של כבלי הולכה. לכל אחת מהשיטות יש יתרונות וחסרונות. בחירת השיטה להעברת חשמל תלויה בעיקר בגורמים כמו עלות העברת הכבלים, מתח חשמל נדרש (מתח נמוך/גבוה), בטיחות, היישום עבורו נפרש קו החשמל ועוד. העברה של כבלים תת-קרקעיים היא יקרה אך בעלת יתרונות רבים. באירופה, למשל, קיים צורך להרחיב משמעותית את רשתות העברת החשמל במתח גבוה. שליש מכל הפרויקטים להעברת חשמל באירופה כבר עוכבו בגלל התנגדות ציבורית לקווי חשמל עיליים ונהלי היתר מתמשכים. כיום פרויקט ממוצע של העברת קווים עיליים אורך כ-15 שנה משלב התכנון ועד לסיומו. מנגד, טכנולוגיית הכבלים התת-קרקעיים זמינה ויעילה ויכולה לספק פתרון לאתגרים אלו (Europacable, 2017).

הכבלים התת-קרקעיים משמשים ליישומי חשמל, העברה והפצה, במקומות שבהם בעייתי או מסוכן להשתמש בכבלים עיליים. סוג הכבל התת-קרקעי הנבחר תלוי במיקום ובמתח הדרוש לתפעול. הכבלים התת-קרקעיים מבוססים על ליבה מרכזית אחת או מספר ליבות של מוליכי נחושת. לפעמים משתמשים גם במוליכי אלומיניום. בשנים האחרונות הכבלים התת-קרקעיים הופכים לרלבנטיים יותר עבור מתחים גבוהים, למרות שכבלים אלו בדרך כלל יקרים יותר מאשר קווים עיליים. כבלים תת-קרקעיים נמצאים בשימוש בעיקר בארה"ב, אירופה ואוסטרליה ובעיקר ברשתות מתח בינוני (200V-20KV) (Electrical India, 2018).

צריך להתחשב ביתרונות ובחסרונות של כבלי חשמל תת-קרקעיים בתהליך ההחלטה האם להקים כבלים עליונים או תת-קרקעיים (Elprocus, 2019; National Grid, 2018; Electrical India, 2018):

יתרונות כבלי החשמל התת-קרקעיים:

- עלות הכבלים. קווים עיליים דורשים שטח אדמה ומבני תמיכה כמו מגדלים, עמודים ומוליכים. קווים תת-קרקעיים ניתנים להתקנה בנתיבי דרך ייעודיים ובשטחים בהם האוכלוסייה צפופה ואינם מצריכים חלקות אדמה המיועדות רק לקווי החשמל.
 - גודל המוליכים. בהשוואה לכבלים עיליים, בכבלים תת-קרקעיים יש מוליך ענק המוביל את אותה כמות של חשמל.
 - יכולת נשיאה של מתח נדרש הגבוה מכבלים עיליים.
 - כושר העמידות והאמינות של המערכת. כבלי ההולכה החשמליים התת-קרקעיים בטוחים מאוד לסביבה, לציבור, לבעלי חיים וכו'. בכבלים תת-קרקעיים יש מערכת קירור מלאכותית. הכבלים כמעט ואינם מושפעים מפגעי מזג אוויר ואירועים כגון נפילת עצים, תאונות, בעלי חיים, סערות, ברקים וכו'. בכבלים אלו אין סכנת שריפה, למעט בנקודות קצה בהן יש כבלים חשופים (בקטבים), תחנות-מתח ושטחי העבודה.
 - ירידת מתח והפרעות באספקת החשמל. לכבלי ההולכה החשמליים התת-קרקעיים יש ירידת מתח פחותה יותר מפני שקוטרם גדול הרבה יותר יחסית לכבלים עליונים. כבלים אלה אינם מפריעים לקווי תקשורת כמו טלוויזיה ורדיו.
 - השפעה מינימלית על הסביבה ועל חזות הסביבה. העברה תת-קרקעית משמרת את היופי של הסביבה הטבעית ואת ערך הקרקע. לכבלי ההולכה החשמליים התת-קרקעיים יתרונות הקשורים לבריאות ואקולוגיה. טווח קטן של פליטת השדה האלקטרומגנטי.
 - לכבלים אלה יש פחות סיכון לגניבה וחיבורים אסורים לכבלים. הכבלים מוגנים מוונדליזם של בני אדם ומפעולות טרור.
 - שטח התקנה. התקנת כבל תת-קרקעי דורשת רצועה קטנה של 10-1 מטר.
 - תמיכה ציבורית. בעלי עניין (תושבים, בעלי עסקים, בעלי קרקעות וקבוצות של פעילי סביבה) מביעים תמיכה ברעיון הכבלים התת-קרקעיים.
- חסרונות כבלי חשמל תת-קרקעיים:
- בנייה והתקנה. ההקמה של כבלי חשמל תת-קרקעיים היא יקרה, בהשוואה לכבלים עיליים, ודורשת מיגון מפני קורוזיה, לחות, פגיעה מכנית והשפעה מהאדמה. תהליך ההתקנה של כבלי חשמל תת-קרקעיים דורש חפירה באדמה ואילו בקווים עיליים הם מותקנים על עמודים. את החפירה עבור כבלים תת-קרקעיים יש לתכנן בהתאם לקווי שירות נוספים כגון צינורות גז, נפט וביו. בעיות אחרות עלולות לצוץ בגלל אדמה לא יציבה וסלעים.
 - אחזקה יקרה מאוד. זיהוי ותיקון תקלות. זיהוי התקלות ותיקון יכול לארוך ימים רבים.

- משך חיים. תוחלת החיים של כבלי ההולכה החשמליים התת-קרקעיים נמוכה בהשוואה לכבלים עיליים.
- לא תמיד ניתן להבחין במיקומם של כבלים תת-קרקעיים ולכן הכבלים עלולים להיפגע.
- תפעול הכבלים קשה מאוד בגלל עוצמת התגובה הגבוהה שלהם המייצרת זרמי טעינה גבוהים.
- כבלים תת-קרקעיים פוגעים בתנועת האדמה.

ישנם שני סוגים שונים של כבלים תת-קרקעיים להעברת חשמל. האחד מורכב על צינור עם נוזל או גז. הסוג השני הוא כבל דיאלקטרי מוצק שלא דורש נוזלים או גז והוא העדכני ביותר בתחום הטכנולוגיה: Cross-linked Polyethylene (XLPE). כבלי XLPE מכילים חומר דיאלקטרי מוצק המחליף את הנוזל או הגז או את כבלי הצינור (pipeline). כבל זה הפך להיות כבל תת-קרקעי סטנדרטי להעברת קווי חשמל במתח של פחות מ- 200kV הוא דורש פחות תחזוקה אבל מועד יותר לתקלות בידוד הקשות יותר לניטור (Commission of Wisconsin, 2017; Elprocus, 2019). דוגמה לחברה ישראלית היא חברת Synergy Cables¹⁵⁵ מספקת כבלים חשמליים, כולל כבלים מסוג XLPE. לחברה יש שרשרת הפצה ולקוחות ביותר מ- 40 מדינות בעולם.

פוטנציאל שוק

מחקרים שונים הראו כי גודל השוק העולמי של הכבלים למתח גבוה הינו בצמיחה. Fortune Business Insights העריכו כי שוק העולמי של כבלים למתח גבוה עומד על 31.89 מיליארד דולר ב- 2018 וצפוי להגיע ל- 54.97 מיליארד דולר ב- 2026 עם שיעור צמיחה שנתי ממוצע של 7.11% (Fortune Business Insights, 2019). לעומתם, MarketWatch העריכו כי שוק העולמי של כבלים למתח גבוה עומד על 28.8 מיליארד דולר ב- 2018 וצפוי להגיע ל- 47.8 מיליארד דולר ב- 2027 עם שיעור צמיחה שנתי ממוצע של 6.1% בתקופה זו (MarketWatch, 2019). הגורמים המניעים את הצמיחה כוללים דרישה גוברת לחשמל הנובעת מתיעוש והתפתחויות כלכליות וכן השקעות גוברות בייצור אנרגיה מתחדשת (MarketWatch, 2019).

כבלים על-מוליכים (Superconducting cables):

אפשרות חדשנית נוספת של שימוש בכבלים תת-קרקעיים הם כבלים תת-קרקעיים על-מוליכים בקיבולת גבוהה. טכנולוגיה זו מצטרפת לטכנולוגיות אחרות הפועלות להתאמת שוק האנרגיה לדרישות הגוברות לחשמל. דרישות אלה נוצרות בעיקר בגלל העלייה בכמות הייצור של אנרגיה מתחדשת והגידול במתקני מבזרים לייצור אנרגיה. היתרון של כבלים חשמליים על-מוליכים טמון בעיקר בגודלם הקטן. יתרונות נוספים נוגעים להשפעה הסביבתית, יעילות ותמיכת הציבור.

טכנולוגית על-מוליכות מאפשרת לייצר כבל להעברת חשמל במתח-גבוה והיא בעלת יתרון לעומת מערכת הכבלים הרגילה. על-מוליכות נוצרת מחומרים שההתנגדות החשמלית שלהם יורדת לאפס כאשר הטמפרטורה יורדת מתחת לנקודה מסוימת. כתוצאה מכך, חומרים אלו מוליכים זרם כמעט ללא הפסדים. לעל-מוליכות צריך לקרר את הנחושת ל- 4 קלווין אבל משימה זו קשה. יש מתכות אחרות (סגסוגות של מתכות) שכבר ב- 170 קלווין מתרחשת תופעת העל-מוליכות. טכנולוגיה זו לכבלי חשמל היא יקרה מאוד ודורשת תחזוקה רבה. הפתרונות האחרים זולים יותר, גם אם פחות יעילים¹⁵⁶.

הפתרונות הקובנציונליים המשמשים כיום להעברת חשמל הם בטווח של 1-8 ג'יגה-וואט כוללים קווים עיליים, כבלים תת-קרקעיים עם בידוד (XLPE) וכבלים תת-קרקעיים מבודדי גז. אבל, פתרונות אלו לרוב הם דורשים מסדרונות הולכה גדולים והנדסה אזרחית נרחבת. לעומת זאת, כבלים על-מוליכים הם קומפקטיים יותר ולכן זקוקים למסדרונות צרים ותעלות לא גדולות. יתרון זה מתבטא בשמירה טובה יותר על הסביבה.

¹⁵⁵ <http://www.synergy-cables.com/>

¹⁵⁶ מתוך ראיון עם פרופ' גרשון גרוסמן

יתר על כן, לכבלים על-מוליכים פחות מגבלות של העברת חשמל ואורך השידור (Marian et al., 2017). יתרונות אלו של כבלים על-מוליכים מתבטאים בתקצוב פרויקטים בנושא על ידי האיחוד האירופי¹⁵⁷.

כבלים על-מוליכים לרשת החשמל מבוססים על חומרים על-מוליכים קרמיים בטמפרטורה גבוהה. בעוד שעל-מוליכים רגילים נמוכי-טמפרטורה הם בעלי טמפרטורת מעבר של מתחת ל- 23 קלווין, לעל-מוליכים גבוהי-טמפרטורה יש טמפרטורות מעבר גבוהות יחסית. העל-מוליכים מקוררים לטמפרטורת פעולה של כ- 77 קלווין באמצעות חנקן נוזלי וניתנים להפעלה בעלויות נמוכות יחסית, מכיוון שדרושה פחות אנרגיה לקירור (Pan European Networks, 2018).

ישנם מספר פרויקטים להעברת חשמל באמצעות כבלים מוליכי על בעולם, שכוח השידור שלהם נע בין MW 200-40 (מגה-וואט), ואורכם נע בין מאות מטרים ועד לקילומטר אחד. למשל, קיימות יוזמות לחיבור רשת חשמל בינלאומית באסיה (סין, רוסיה, קוריאה ויפן). נושא המפתח להשגת חיבור רשת בינלאומית הוא קווי הולכה על-מוליכים חשמליים להעברת חשמל למרחקים ארוכים. המטרה העיקרית ביוזמות אלו היא לפתח על-מוליכות באזורי מגורים, מכיוון שחתך הרוחב של כבל על-מוליכות קטן יותר מכבלי נחושת ואלומיניום ולכן עלות ההנדסה האזרחית נמוכה יותר. לכבלי על-מוליכות יש פוטנציאל גבוה להולכה למרחקים בשל אובדן אנרגיה נמוך, הם קטנים ואפשר להשתמש בהם במתח נמוך (Yamaguchi et al., 2018).

במכון הטכנולוגיה KIT¹⁵⁸ (Karlsruhe Institute of Technology) בגרמניה לומדים את השימוש של טכנולוגית העל-מוליכות כאלטרנטיבה לכבלי חשמל קונבנציונליים בקטעי רשת קצרים עבור רשת החשמל בגרמניה. טכנולוגית העל-מוליכות תאפשר בנייה קומפקטית יותר של קווי העברת חשמל ברשת התלת פאזית. רשת החשמל בגרמניה היא באורך של כ- 35 אלף ק"מ. על מנת לוודא שהחשמל ייוצר ממקורות של אנרגיה מתחדשת, יש צורך שהרשת תגיע למקומות הייצור ולכן יש צורך להרחיב את הרשת בעוד כ- 5,300 ק"מ. להשגת מטרה זו, מתכננים להשתמש בכבלים תת-קרקעיים על-מוליכים, בעיקר ליד ערים וכפרים. לשימוש במערכות של כבלים על-מוליכים ישיגי יתרונות סביבתיים וכלכליים. מערכת הכבלים מיועדת לספק חשמל רציף של 2,300 מגה-וואט. ההפסדים תחת עומס זרם גבוה קטנים משמעותית מקווים עיליים או כבלים תת-קרקעיים קונבנציונליים עם מוליך נחושת. טכנולוגיית העל-מוליכות עשויה להועיל גם בבניית קווי ההולכה. מערכת כבלים קונבנציונלית ברשת ההולכה דורשת שנים עשר כבלי חשמל תלת פאזיים. מערכת כבלים על-מוליכים יכולה להעביר אותו הכוח עם שישה כבלים בלבד, כך אפשר להפחית באופן משמעותי את רוחב הקו (ScienceX, 2018).

דוגמה למערכת חשמל המבוססת על כבלים על-מוליכים היא מערכות רכבות המבוססות על כבלים על-מוליכים. מערכות הזנת המסילה באמצעות חומרים על-מוליכים. פיתוח של כבלים על-מוליכים למסילות רכבת תורמת להגדלת יעילות קצב התחדשות החשמל, הפחתת איבוד החשמל, השוואת עומסים בין תחנות משנה, ופחות תחנות משנה בגלל ירידת מתח קטנה יותר וחסכון באנרגיה. המערכת יכולה לחסוך 5% מהאנרגיה של דגם קו רכבות ממוצע. כאשר ממירים את הנתון לכמות פליטה של פחמן דו-חמצני CO₂, המערכת יוצרת הפחתה של 3.6×10^5 טון של פחמן דו-חמצני בשנה בעולם (Tomita et al., 2017).

פוטנציאל שוק

מספר מחקרים בדקו את שוק הכבלים העל-מוליכים העולמי. מחקר של GIR הראה שהצמיחה הממוצעת השנתית של שוק הכבלים העל-מוליכים העולמי בין השנים 201-2024 היא כ- 11.6%, כך שגודל השוק צפוי לגדול מ- 242.3 מיליון דולר ב- 2019 ועד ל- 375.6 מיליון דולר ב- 2024 (GIR - Global Info Research, 2024). הערכה דומה הראו ב- Market Study Report עם שיעור צמיחה שנתי ממוצע של 12.6%, כך שגודל השוק צפוי לגדול מ- 230.4 מיליון דולר ב- 2019 ל- 369.7 מיליון דולר ב- 2024 (Market Study Report, 2019).

¹⁵⁷ <https://cordis.europa.eu/project/rcn/197829/factsheet/en>

¹⁵⁸ <https://www.supra.kit.edu/index.php?Lng=E>

8.4 העברה אלחוטית של חשמל

העברת חשמל אלחוטית היא דרך להעברת חשמל ללא שימוש בכבלים. העברת חשמל אלחוטית מסייעת לחבר אנשים לחשמל הנמצאים באזורים בהם אין מקור חשמל מתאים על מנת להתחבר אליו. העברת חשמל אלחוטית יכולה להפחית את הצורך בכבלי חשמל וסוללות. העברת חשמל אלחוטית יעילה למכשירים חשמליים שהחיבור ביניהם באמצעות כבלים אינו נוח, מסוכן או לא אפשרי. טכנולוגיית זו צפויה להיות טכנולוגיה יעילה להעברת חשמל מתחנת כוח לכל מקום ללא צורך בכבלים (Sumi, Dutta, & Sarker, 2018).

שיטות להעברה אלחוטית של חשמל:

- **העברה ללא קרינה:** העברה באמצעות שדות מגנטיים המשתמשים בצימוד אינדוקטיבי (inductive coupling) בין סלילי תילי חשמל למרחקים קצרים, או על ידי שדות חשמליים באמצעות צימוד קיבולי (capacitive coupling) בין אלקטרודות מתכת. בטכנולוגיה אלחוטית נעשה שימוש נרחב בצימוד אינדוקטיבי במוצרים כגון טלפונים, מברשות שיניים חשמליות, מטענים למכשירים רפואיים מושתלים כמו קוצבי לב מלאכותיים וכלי רכב חשמליים (Sumi, Dutta, & Sarker, 2018).
- **העברה שקרובה לשדה (Near-field transfer):** בשיטה זו יש צורך בצימוד של שני סלילים להעברת חשמל. באמצעות צימוד שדה מגנטי (magnetic field coupling) מעביר השנאי אנרגיה באופן אלחוטי. יעילות ההעברה יורדת באופן דרסטי אם מסירים את ליבת הברזל ומפרידים בין שני הסלילים. לכן, יש להניח את שני הסלילים קרוב זה לזה. שיטה כזאת כבר נמצאת בשוק. לדוגמה, למרבית מברשות השיניים החשמליות יש מטענים אלחוטיים, הבטוחים בהרבה ממטענים המחוברים באמצעות כבלים בסביבה רטובה. התדירות של המשדר ושל המקלט נקבעים על ידי החומר ממנו עשוי הסליל וצורתו. יעילות ההעברה פוחתת ככל שהסלילים מרוחקים זה מזה (Sumi, Dutta, & Sarker, 2018).
- **שיטה הקשורה לקרינה (Radiative):** או העברה לשדה רחוק (Far-field transfer), החשמל מועבר באמצעות קרני אור (כמו מיקרוגל או קרני לייזר). שיטה זו יכולה להעביר אנרגיה למרחקים ארוכים. יישומים אפשריים בשיטה זו: לווני אנרגיה סולארית וכלי טיס המופעלים אלחוטית (Sumi, Dutta, & Sarker, 2018).

יישומים אפשריים של העברה אלחוטית של חשמל: העברת חשמל אלחוטית למכשירים ניידים, טעינה אלחוטית של רכבים חשמליים, תחבורה ציבורית ורכבים אוטונומיים, לווניים בעלי לוחות סולאריים, מכשירי חשמל ביתיים, מכשירים רפואיים ועוד (Sumi, Dutta, & Sarker, 2018). דוגמאות לחברות בארץ המפתחות טכנולוגיה לטעינה אלחוטית - חברת ElecReon¹⁵⁹ פיתחה טכנולוגיה לאספקה אלחוטית של חשמל לתחבורה ציבורית מהכביש. הטכנולוגיה מסירה את מקור האנרגיה מהרכב ובכך מפחיתה את המשקל והעלות של אוטובוסים ומבטלת את הבעייתיות של אורך החיים של סוללות ברכבים. בפברואר 2019, החברה הודיעה על פיילוט ראשון שיתקיים בשיתוף עם חברת האוטובוסים דן ועיריית ת"א: תשתית טעינה תיפרס על כביש באורך קילומטר. בכביש יופעל אוטובוס חשמלי שיוטען ללא מגע עם הכביש¹⁶⁰. חברת Humavox¹⁶¹ מציעה תשתית הטענה אלחוטית למכשירים אלקטרוניים באמצעות גלי רדיו (RF). חברת Powermat Technologies¹⁶² מפתחת טעינה אינדוקטיבית לטעינה אלחוטית המאפשרת לטעון מכשירים ניידים באמצעות השראה אלקטרומגנטית.

פוטנציאל שוק

מספר מחקרים בדקו את שוק החשמל האלחוטי. על פי מחקר של Transparency Market Research שוק העברת חשמל האלחוטי צפוי לגדול בשיעור צמיחה שנתי ממוצע של 15% בתקופה שבין 2018-2026 (Transparency Market Research, 2018). ב- MarketsandMarkets ערכו השראה לשנים 2017-

¹⁵⁹ <https://www.electreon.com/>

¹⁶⁰ <https://www.calcalist.co.il/local/articles/0,7340,L-3756968,00.html>

¹⁶¹ <http://www.humavox.com/>

¹⁶² <https://powermat.com/>

2022 ומצאו כי השוק יצמח בשיעור צמיחה שנתי ממוצע של 23.2% בין 2017-2022 ויגדל מ-2.5 מיליארד דולר ב-2016 ל-11.3 מיליארד דולר ב-2022. הגורמים המניעים צמיחה זו כוללים את הנוחות של הטכנולוגיה לצרכן והצורך במערכות טעינה יעילות (Markets And Markets, 2019).

8.5 שינוע אנרגיה בישראל

גורמים המשפיעים על משק החשמל בישראל: בתי הזיקוק וחברות התשתית והאחסון, חברות הדלק, צרכנים גדולים, הממשלה, גופים חברתיים כגון ארגונים להגנת הצרכן ולשמירה על איכות הסביבה, שימוש בגז טבעי, ותקינה וחקיקה סביבתית באירופה ובשאר העולם, אשר מחייבת גם את ישראל (משרד האנרגיה¹⁶³).

מורכבותו של משק הדלק מחייבת פיקוח יעיל כדי להבטיח אספקת דלק סדירה ואמינה, בשגרה ובעת חירום. גופי הפיקוח המרכזיים העוסקים בנושא השינוע הם: משרד האנרגיה - למשרד זה אחריות על אספקת מוצרי הדלק למשק; משרד התחבורה והבטיחות בדרכים - המשרד אחראי להסדרת תנועת מכליות דלק בכבישים; המשרד להגנת הסביבה - המשרד אחראי לרישוי תחנות דלק, מתקני אחסון והזרמת דלק. משרד הפנים ורשויות מקומיות – המשרד אחראי על אישורי הקמת מתקנים וצנרת דלק, ואישור הקמת תחנות דלק עפ"י תוכנית המתאר הארצית (משרד האנרגיה¹⁰).

בישראל הנפט גולמי הוא חומר הגלם העיקרי לייצור אנרגיה, שממנו מזוקקים בנזין וסולר לתחבורה, גז לבישול, מזוט לייצור חשמל ומוצרים תעשייתיים נוספים. הנפט נשאב באמצעות מתקני קידוח ביבשה ובים ומועבר במכליות או בצינורות אל בתי הזיקוק. הנפט בישראל מיובא בחלקו הגדול ממדינות שבעבר היו בשלטון בריה"מ, באמצעות צינור הנפט באקו-טביליסי-ג'יהאן (BTC) המחבר את הים הכספי עם הים התיכון ועובר דרך גיאורגיה וטורקיה (משרד האנרגיה¹⁰).

שינוע של גז הרבה יותר יעיל משינוע של כבלי חשמל מבחינת דחיסות האנרגיה והיכולת לייצר יותר חשמל. שינוע של אנרגיה גז לתחנות פרטיות בקרבה למקום הצריכה מהווה פתרון אלטרנטיבי לבעיית שינוע אנרגיה¹⁶⁴. הגז הטבעי הדחוס מוזרם למכליות ומשונע לצרכנים אשר מסיבות גיאוגרפיות ואחרות אינם יכולים להתחבר לצנרת הגז הטבעי. בדרך זו ניתן לספק גז טבעי לאזורים מרוחקים שאינם מחוברים לרשת החלוקה. שרשרת הובלת הגז הטבעי הדחוס כוללת את מתקן האחסון, שבו נדחס הגז הטבעי ונשמר עד למיליון במכליות, ואת אמצעי השינוע והמיכלים המשווקים לצרכן (מתוך: משרד האנרגיה). במאי 2014 הוענק רישיון לאספקת גז טבעי דחוס לחברת סופרגז טבעי בע"מ. הכנסת גז טבעי דחוס לשימוש במשק הישראלי נועדה לסייע לצרכנים מרוחקים ליהנות מהיתרונות שבצריכת גז טבעי, עד לחיבורם למערכת החלוקה, על ידי שינוע הגז במשאיות המיועדות לכך. הגז הטבעי הדחוס הוא אחד ממקורות האנרגיה המרכזיים במשק, ובשנת 2016 הגיעה הצריכה לכ-560 אלף טון. משק הגז הטבעי הדחוס בישראל פועל בפריסה ארצית נרחבת וכולל מערכי ייצור, אחסון, מילוי, ומערך ארצי רחב של שינוע וחלוקה לצרכנים המופעלים באמצעות ספקי גז מורשים (משרד האנרגיה¹⁶⁵).

בנובמבר 2019 פורסם כי שר האנרגיה, יובל שטייניץ שוקל לקבוע יעד חדש לייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות, שינוע בין 25% ל-30% לעומת היעד הקודם שנקבע על 17% עד ל-2030¹⁶⁶.

בדצמבר 2019 דווח בעיתון דה-מרקר כי מנכ"ל משרד האנרגיה, אודי אדירי, טען בוועידת האנרגיה 2019 שהגז הטבעי אינו מתחרה באנרגיות המתחדשות¹⁶⁷. אין קונפליקט בין אנרגיות מתחדשות לרצון למצות את משאבי המדינה להביא הכנסות נוספות מיצוא גז. הכוונה היא להגדיל את השימוש באנרגיות מתחדשות תוך שמירה על אמינות אספקה. יעד של ייצור חשמל של 30% מאנרגיה מתחדשת ב-2030, צריך לחייב את כל מבני הציבור בהנחת פאנלים סולאריים בטכנולוגיית (פוטו-וולטא) PV על הגג. מליאת רשות החשמל אישרה את הגדלת הספק השנאים של חברת החשמל על מנת להגדיל את הזרמת החשמל הסולארי ברשת הקיימת.

¹⁶³ https://www.gov.il/he/Departments/Guides/fuel_market

¹⁶⁴ מתוך ראיון עם עופר גולדהירש

¹⁶⁵ https://www.gov.il/he/Departments/Guides/natural_gas_basics?chapterIndex=1

¹⁶⁶ https://www.gov.il/he/Departments/news/re_171119

¹⁶⁷ <https://www.themarket.com/dynamo/1.8219426>

חלק מבעיית ההולכה טמון בקיבולת הרשת בערבה. על פי דבריה של נורית גל, סמנכ"לית חשמל ורגולציה ברשות החשמל, להקמת קו הולכה נוסף נדרשות מספר שנים, אולם ניתן להגדיל את הקיבולת של הרשת הנוכחית.

8.6 תמיכה ממשלתית בתחום שינוע אנרגיה

בנובמבר 2018 פורסם קול קורא¹⁶⁸ על ידי משרד האנרגיה בשיתוף עם אגף התקציבים במשרד האוצר, מנהלת תחליפי דלקים ותחבורה חכמה במשרד ראש הממשלה ורשות החשמל, להקמת עמדות טעינה מהירות (DC) לרכבים חשמליים, במסגרת מימוש החלטת ממשלה מספר 2790 מיום 30.1.2011 והחלטת ממשלה 5327 מיום 13.1.2013 להפחתת התלות בנפט בתחבורה.

בדצמבר 2019 פורסם בעיתון דה-מרקר¹⁶⁹ שמשרד ראש הממשלה יקדם ב-2020 תשתית להטענת רכב מונע במימן, כהיערכות לכניסת רכב לא מזהם ובהמשך לקול הקורא שפורסם ב-2018. ד"ר איילת ולטר, מנהלת תחום אקדמיה וטכנולוגיה בתוכנית הלאומית לתחליפי דלקים ותחבורה חכמה במשרד ראש הממשלה, מבקשת לקדם ייצור תשתית למימן, כחלק הצטרפותה של ישראל למגמת הרכב הנקי, מגמה אותה כבר מקדמים ברחבי העולם (קליפורניה, קוראיה ויפן).

משרד האנרגיה מממן פרויקטי מחקר ופיתוח בתחומי האנרגיה¹⁷⁰. שלושה מהם בתחומי שינוע אנרגיה:

פרויקט התקני מיתוג על-מוליכים מבוססי ספיר בהספק גבוה: הפרויקט חוקר את הדור הבא של **כבלי על-מוליכים**. כבל על-מוליך בעל ציפוי דו-צדדי של ספיר, שייצורו זול ופשוט. בפרויקט פותחה דרך למניעת הריסת מתקן ההובלה וייצובו על ידי שימוש במצע של ספיר שהינו בעל הולכה תרמית גבוהה והתפשטות תרמית גבוהה (high thermal diffusivity) בתחום הטמפרטורה הרלוונטי. חלק ממאפייני המפתח של שיטה זו הם: ציפוי ספיר (הטכנולוגיה המתגברת על מחסומים קריטיים שהכשילה פתרונות אחרים), צפיפות חשמל מוגברת ב-100%, הפחתת עלויות, הפחתת הפסדי זרם חילופין, וזמני מיתוג מהירים יותר. מנהל הפרויקט: פרופ' זיגפריד גי דויטש מהפקולטה למדעים מדויקים באוניברסיטת תל אביב. גובה המענק לפרויקט זה: 450 אלף ₪ (משרד האנרגיה).

פרויקט יציבות הרשת לנוכח חדירה מאסיבית של מקורות מתחדשים בישראל: פרויקט בנושאים של **אנרגיות מתחדשות, התייעלות אנרגית ורשתות חכמות**. המחקר מבקש לבחון מספר היבטים מרכזיים של **תוספת ההספק הצפויה ברשת ההולכה** וליצור כלים חדשים לתמיכה בקבלת החלטות בתחום זה. המחקר מחולק לשלוש חטיבות עיקריות העוסקות בבחינה כמותית של תוספת ההספק המתוכננת ומיקומה הגיאוגרפי האופטימלי כפונקציה של פריסת הרשת, וכן בשילוב של אמצעי אגירה. מנהל הפרויקט: פרופ' יואש לברון, הפקולטה להנדסת חשמל, הטכניון. גובה המענק: 260 אלף ₪ (משרד האנרגיה).

פרויקט מיקרו-קבלי על נטענים אלחוטית: פיתוח טכנולוגיה חדשנית המציעה **טעינת אנרגיה אלחוטית** של מיקרו-קבלי על באמצעות קליטת אור והעברתו כפלסמונים משטחיים. קבלי העל ייטענו ע"י הארה של אנטנה מיוחדת ללא צורך בחיווט. גישה המוצעת היא גישה מהפכנית שתגדיל את יעילות הבליעה ותפחית משמעותית את כמות האנרגיה הנפלטת על ידי מעבדי מחשב. מנהל הפרויקט: פרופ' רז ילניק מהמחלקה לכימיה באוניברסיטת בן גוריון. גובה המענק: 400 אלף ₪ (משרד האנרגיה).

מאגד בנושא שינוע אנרגיה החל לפעול ב-2018 בתמיכת הרשות לחדשנות כחלק ממסלול מגנט¹⁷¹: **מאגד אנרגיה מימנית**. המאגד הוא פלטפורמה טכנולוגית לפיתוח כלי תחבורה מונעי תאי דלק מבוססי מימן כמקור אנרגיה. קידום טכנולוגיות המאפשרות מעבר משינוע בדלק פחמימני לשינוע המבוסס על אנרגיה המופקת ממימן, לרבות אחסון המימן והשימוש בו במערכות הינע חשמליות, בכלי תחבורה יבשתיים, אוויריים וימיים. מטרת היזמים היא לפתח שיטות יעילות ובטוחות המבוססות על תהליכים מבוקרים ומהירים של

¹⁶⁸ https://www.gov.il/he/departments/publications/Call_for_bids/tender_116_18

¹⁶⁹ <https://www.themarker.com/dynamo/cars/1.8216775>

¹⁷⁰ <https://studiesandcontracts.energydmz.org/CSOSupportedProjects/#/>

¹⁷¹ <https://innovationisrael.org.il/content/מפגש-התנעה-למאגד-אנרגיה-מימנית>

אגירה ושל שחרור מימן, ופיתוח תהליכים והתקנים חדשניים לצורך יישום הכלכלי ברכב חשמלי ובאמצעי תחבורה אווירית וימית מונעי אנרגיה, המבוססת על אחסון מימן.

8.7 תעשייה בישראל בתחום שינוע אנרגיה

שינוע נפט וגז

התעשייה בישראל בנושא שינוע מתמקדת בעיקרה בשינוע נפט וגז. שלוש חברות גדולות הפועלות בתחום הן:

חברת "תשתיות נפט ואנרגיה בע"מ" (תש"ן)¹⁷² היא חברת התשתית הלאומית של משק האנרגיה בישראל (100% בבעלות המדינה) ומטרתה לספק את צורכי תשתית משק האנרגיה של מדינת ישראל. פעילות החברה חולשת על קשת רחבה של תחומים במשק הדלק: שירותי נמל לייבוא ולייצוא, אחסון דלקים לסוגיהם, הולכה ואספקה של דלקים, בעיקר של תזקינים, באמצעות צנרת תת-קרקעית לכל רחבי הארץ. טיפול במוצרי דלק גולמי וניפוק למכליות כביש. חברת "קו מוצרי דלק בע"מ", הנמצאת בבעלות המלאה של חברת תש"ן, עוסקת בהפעלה ובתחזוקה של מערכות וקווי דלק להולכת תזקינים. מתקני החברה פרוסים ברחבי הארץ: **מסוף קריית חיים** - המסוף הוקם במטרה לייצא את עודפי הזיקוק של בתי הזיקוק ללקוחות בחו"ל. **נמל הדלק חיפה** - שינוע מוצרי נפט מוגמרים ומוצרים בתהליך זיקוק, תדלוק אוניות, אחסון והזרמה של מוצרים לבתי זיקוק חיפה, למתקני אחסון ולצרכנים גדולים במפרץ חיפה. **מסוף אלרואי** - אחסון מוצרי נפט והזרמתם למרכז הארץ ולדרומה, למתקני תעופה, לנמל הדלק, למתקני חברות הנפט, לבתי הזיקוק חיפה ולתחנות טורבו-גז של חברת החשמל. **מסוף ביל"ן** - אחסון מוצרי דלק והזרמתם ליעדים במרכז הארץ ולשדות תעופה. **מסוף אשקלון דרום** - אחסון נפט גולמי ומוצרי נפט, הזרמת מוצרי נפט למערך הצנרת הארצית ולתחנת טורבו-גז רוטנברג של חברת החשמל. **מסוף האשל** - בתחילת שנות ה-80 הוקמו בו מכלי אחסון נוספים והונחו צינורות דלק ממנו אל צרכני דלק בדרום הארץ. בשנת 2002 הוקם אתר הניפוק למכליות כביש על מנת לספק מוצרי דלק מסוגים שונים לחברות שיווק הדלק. **מתקן אפרת** - אחסון מוצרי נפט והזרמתם ליעדים נדרשים.

מתקני האחסון של החברה פרושים ברחבי הארץ ומקושרים ביניהם ברשת קווים ארצית שאורכה הכולל כ-800 ק"מ. רשת זו מוליכה את הנפט הגולמי בצינורות ממכלי האחסון שבנמלים לבתי הזיקוק, ואת מוצרי הנפט מבתי הזיקוק אל מתקני האחסון ומשם לצרכנים הגדולים - מתקני חברות הדלק, תחנות הכוח של חברת החשמל ושדות התעופה. צינורות הדלק מוגנים בפני קורוזיה באמצעות מערכת הגנה קתודית, מערכת שליטה ובקרה משוכללת, שפותחה על ידי חברת תשתיות נפט ואנרגיה, המסייעת בזיהוי ואיתור דליפות בעוד מועד וטיפול מידי בדליפה.

נתיבי הגז הטבעי לישראל בע"מ¹⁷³. בהתאם להחלטת הממשלה, הוקמה החברה במטרה לעסוק בהקמה, תחזוקה והפעלה של מערכת הולכת הגז הטבעי בישראל. מערכת ההולכה כוללת קווי צינורות להולכה של גז טבעי, ביבשה ובים, וכן את המתקנים הקשורים אליהם, לרבות מתקנים לקליטת גז טבעי, מתקנים למדידת הגז ולהפחתת לחץ הגז מלחץ גבוה ללחץ נמוך, ותחנות הגפה לאורך התוואים של חלקי המערכת. מערכת ההולכה הארצית לגז טבעי בישראל כוללת ארבעה מרכיבים עיקריים: תחנות לקבלת גז טבעי מן הספקים, צנרת יבשתית וימית, מתקני PRMS להפחתת לחץ ומדידה של גז טבעי, תחנות הגפה.

חברת **סופרגז טבעי**¹⁷⁴, הינה חברה יזמית בתחום האנרגיה אשר פעילה במספר תחומים: ייצום פרויקטי הסבת מפעלי תעשייה לגז טבעי, ייצום פרויקטי גז טבעי דחוס (CNG) למגזר התעשייה והתחבורה, ייצום פרויקטי קו-גנרציה (ייצור חשמל עצמי), שיווק ומכירה של גז טבעי. בשוק הגז הטבעי לתחבורה החברה פועלת לאספקה באמצעות תחנות תדלוק המחבורות לרשת חלוקת הגז הטבעי והן באמצעות תחנות בת המקבלות את האספקה ממתקן הדחיסה באמצעות מערך ההובלה הייעודי.

¹⁷² <http://www.pei.co.il/>

¹⁷³ <https://www.inql.co.il/>

¹⁷⁴ <http://www.supernaturalgas.co.il/NaturalGas/index.asp?DBID=1&LNGID=2>

כבלים על-מוליכים

חברת Synergy Cables הישראלית מספקת כבלים חשמליים, כולל כבלים מסוג XLPE. לחברה יש שרשרת הפצה ולקוחות ביותר מ-40 מדינות בעולם (מתוך מאגר ה-Startup Nation, 2019). זו חברה קטנה (50-111 עובדים). החברה נמצאת בשלב המימון של המוצר.

טעינה אלחוטית

בישראל פועלות 6 חברות העוסקות בטעינה אלחוטית שתיוגו במאגר ה-Startup Nation Central Finder תחת התיג: wireless charging (רשימת החברות מופיעה בנספח א'). החברות הוקמו בין השנים 2006-2016, מתוכן שלוש חברות גייסו כסף בסכום של כ-89.5 מיליון דולר.

שלב פיתוח המוצר: שלוש חברות נמצאות בשלב Released של המוצר, שתי חברות בשלב Beta של המוצר וחברה אחת בשלב Alpha של המוצר.

שלב המימון: שלוש חברות נמצאות בשלב A או C, שתי חברות נמצאות בשלב Bootstrapped וחברה אחת בשלב Public.

גודל החברות: חמש חברות הן חברות קטנות (50-1 עובדים) וחברה אחת בינונית (200-51 עובדים).

8.8 פעילות אקדמית ומרכזי מחקר

הפעילות האקדמית בנושא שינוע מעטה ומתמקדת בעיקר בנושא הכבלים העל-מוליכים:

מכון Russell Berrie Nanotechnology Institute בטכניון. במכון חוקרים, בין היתר, את נושא הכבלים העל-מוליכים. מוביל המחקר הוא פרופ' אמיל פולטורק מהמחלקה לפיסיקה בטכניון.

המכון לעל-מוליכות - Institute of Superconductivity והמעבדה למדידות מגנטיות (Laboratory for Magnetic Measurements)¹⁷⁵ באוניברסיטת בר אילן בראשותו של פרופ' יוסף ישורון. המעבדה מוקדשת למחקרים ניסויים של תוכנות מגנטיות לכבלים על-מוליכים בטמפרטורות גבוהות.

מעבדה לעל-מוליכות ניסויית - Experimental Superconductivity Laboratory¹⁷⁶, המחלקה לפיסיקה, באוניברסיטת בן גוריון.

קבוצת על-מוליכות - Superconductivity group¹⁷⁷, באוניברסיטת תל אביב בהנהלתו של פרופ' גיא דויטשר.

פעילות בנושא טעינה אלחוטית:

מרכז המחקר Center for Power Electronics and Mixed-Signal IC, Department of Electrical and Computer Engineering¹⁷⁸ באוניברסיטת בן גוריון עוסק, בין היתר, בנושא מערכות לטעינה אלחוטית. המרכז מנוהל על ידי פרופ' מור מרדכי פרץ.

בפקולטה להנדסת חשמל בטכניון החוקרים הפועלים בנושא טעינה אלחוטית הם ד"ר אריאל אפשטיין ופרופ' עמנואל כהן.

במסמך שפורסם על ידי משרד האנרגיה "מדיניות התמיכה במחקר ופיתוח של משרד האנרגיה בתחומי האחריות של המשרד"¹⁷⁹ ב-2019, יש אזכור יחיד ל"שינוע אנרגיה" בתחום המימן כנושא שיש לחקור אותו.

¹⁷⁵ <https://superconductivity.biu.ac.il/>

¹⁷⁶ <http://europe.guide.ieeecsc.org/organization/ben-gurion-university-department-physics>

¹⁷⁷ <https://m.tau.ac.il/~supercon/group.html>

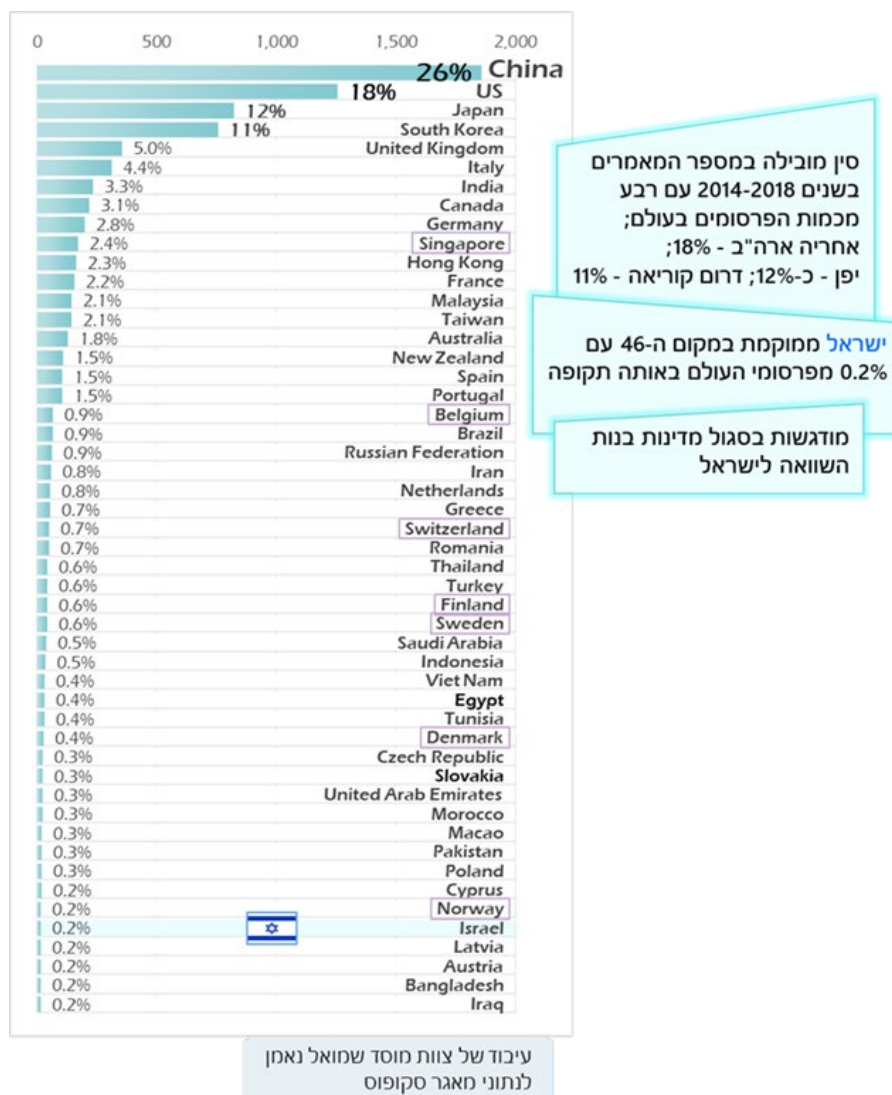
¹⁷⁸ <https://www.ee.bgu.ac.il/~pemic/>

¹⁷⁹ https://www.gov.il/BlobFolder/guide/rd_grants/he/rd_support.pdf

8.9 מדדים ביבליומטריים

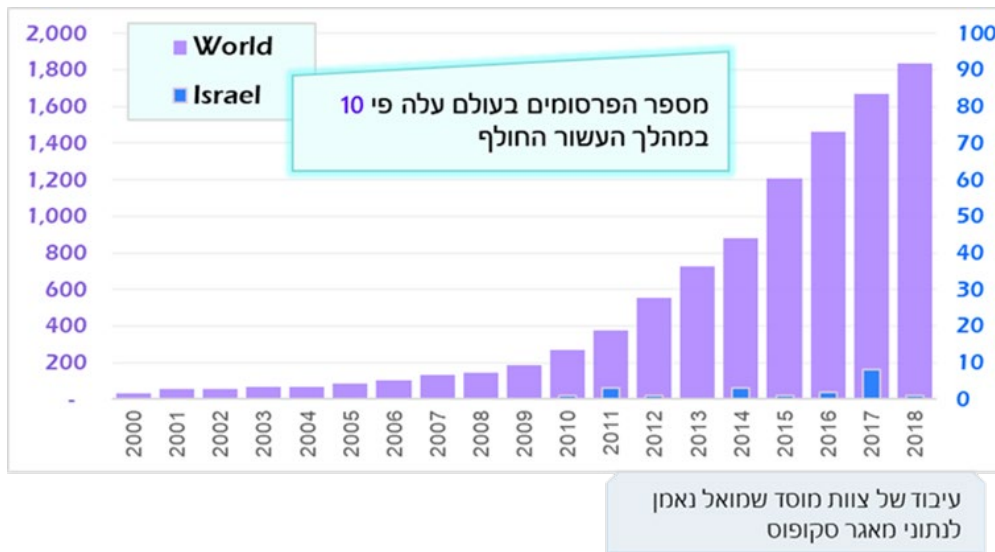
האיור הבא מציג את 50 המדינות המובילות במספר הפרסומים המדעיים בתחום שינוע אנרגיה במהלך השנים 2014-2018 (נכון לדצמבר 2019). האחוזים מציינים את שיעור הפרסומים של כל מדינה מכלל הפרסומים בעולם בנושא¹⁸⁰. סין מובילה את הדירוג עם למעלה מרבע מפרסומי העולם בתחום (26%) וארה"ב במקום השני עם כחמישית מהפרסומים (18%). מדינות מובילות נוספות הן יפן עם 12% מהפרסומים ודרום קוריאה עם 11% מהפרסומים. באיור מודגשות בסגול מדינות בנות השוואה לישראל מבחינת גודל האוכלוסייה¹⁸¹. ניתן לראות ששבע מדינות דומות נמצאות לפני ישראל בדירוג (סינגפור, בלגיה, שווייץ, פינלנד, שוודיה, דנמרק ונורבגיה), שתיים מהן (סינגפור ובלגיה), מופיעות בין 20 המדינות המובילות במספר הפרסומים בתחום שינוע אנרגיה. הדרוג של ישראל בתחום נמוך והיא ממוקמת במקום ה-46 עם 0.2% מפרסומי העולם בתחום (איור 43). מספר הפרסומים בעולם עלה פי עשר במהלך העשור החולף. בישראל, לעומת זאת, מספר הפרסומים הוא קטן מאוד, אך נראתה עליה קטנה ב-2017 (איור 44).

איור 43: דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018



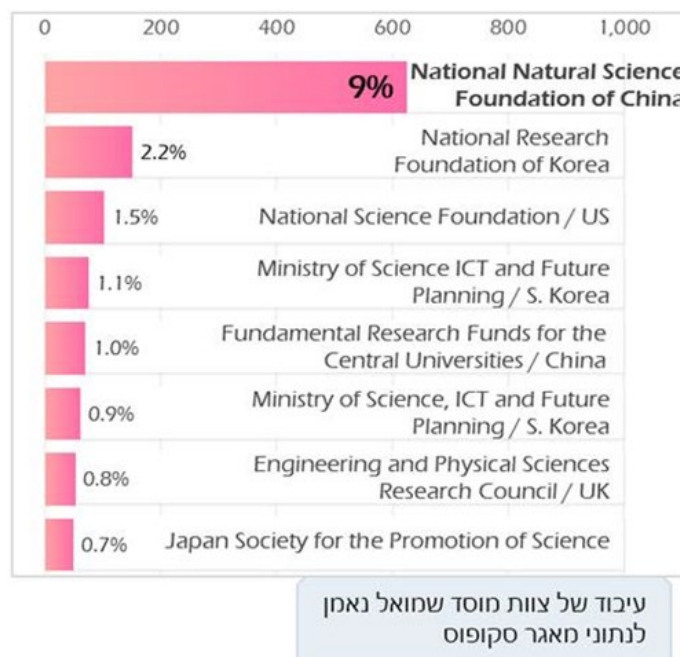
¹⁸⁰ פרסומים שנכתבו בשיתוף פעולה של חוקרים ממספר מדינות נספרים עבור כל אחת מהמדינות ולכן סה"כ גדול מ-100%
¹⁸¹ לרשימת המדינות בנות-ההשוואה נבחרו מדינות שדומות למדינת ישראל מבחינת גודל האוכלוסייה ומספר הפרסומים.
 השיקולים לבחירת המדינות מפורטים בפרק "השוואת ישראל למדינות נבחרות במדדים שונים" בדו"ח שפורסם בנושא "תפקוד מ"פ בישראל: פרסומים מדעיים בהשוואה בינלאומית, 2017"

איור 44: השינוי במספר הפרסומים בתחום שינוע בישראל יחסית לעולם בשנים 2000-2018



איור 45 מציג את דירוג גופי המימון המובילים לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018 (נכון לדצמבר 2019). על פי האיור, מתוך שמונה גופי מימון, הקרן הלאומית למדעי הטבע של סין (National Natural Science Foundation of china) מובילה עם 9% מהפרסומים.

איור 45: דירוג גופי המימון המובילים לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018

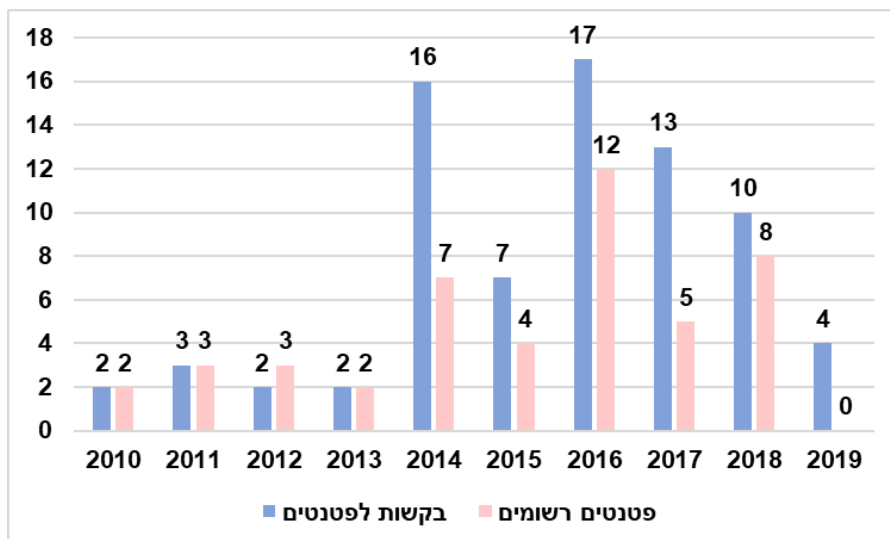


8.10 בקשות לפטנטים

בשנים 2010-2019 הוגשו 76 בקשות לפטנטים בנושא שינוע אנרגיה. הבקשות לפטנטים הוגשו ב-USPTO על ידי ממציאים ישראלים בנושאים של שינוע אנרגיה (כבלים תת-קרקעיים, כבלים על-מוליכים, חשמל אלחוטי והעברה והפצה של מימן). מספר הפטנטים הרשומים של ממציאים ישראלים נאמד על 46 פטנטים בין השנים 2010-2019 (איור 46). 65 פטנטים הוגשו על ידי חברות ו- 11 פטנטים על ידי אנשים פרטיים. את מספר הפטנטים הגדול ביותר (23 פטנטים) הגישה חברת Powermat Technologies המפתחת טעינה

אינדוקטיבית לטעינה אלחוטית. בין החוקרים הבולטים שהגישו בקשות לפטנטים הם פרופ' יאיר עין-אלי מהפקולטה למדע והנדסת חומרים בטכניון (3 פטנטים) וארנסט קאשין, מדען ראשי בחברת Phinergy (2 פטנטים) (פירוט הבקשות לפטנטים ופטנטים רשומים מופיע בנספח ג).

איור 46: מספר בקשות לפטנטים ופטנטים רשומים בין השנים 2010-2019



מקור: עיבוד של צוות מוסד נאמן לנתוני USPTO

8.11 מענקי מחקר

נערכה סקירה של הגופים העיקריים מהם מקבלים חוקרי ישראל מענקי מחקר. הסריקה נעשתה באמצעות מילות החיפוש: "superconductor underground cables; wireless power; hydrogen distribution". החיפוש העלה שלושה גופים שהעניקו מענקי מחקר לחוקרים ישראלים*: GIF, BIRD ו-ISF (טבלה 16).

טבלה 16: מענקי מחקר בתחום שינוע אנרגיה

Foundation	For Years	No. of relevant Grants
GIF (The German Israeli Foundation for Scientific Research and Development)	2011 - 2018	1
BIRD (Binational Industrial Research and Development) Foundation	1988 - 2019	2
ISF (Israel Science Foundation)	1991 - 2019	2
Total		5

*רשימת מענקי המחקר ושמות החוקרים שניתנו בתחום שינוע אנרגיה מופיעה בנספח ב.

8.12 חוזקות וחולשות של ישראל בתחום שינוע אנרגיה

- המוכנות של ישראל להתמודדות עם הסיכונים לאספקת אנרגיה אינה מלאה אבל במצב טוב יחסית למדינות העולם המערבי (פורום אנרגיה 37, 2016). בישראל החלו לפעול בנושא של הפחתת גזי חממה ופליטת פחמן תוך הבנה של חשיבות נושא אנרגיות מתחדשות ואנרגיה נקייה. חלק מהפעילות בנושא זה הוא נושא שינוע האנרגיה. בישראל, עיקר הפעילות היא הובלה ושינוע של גז טבעי ונפט באמצעות חברות ישראליות ותיקות. הממשלה ושר האנרגיה קבעו מדיניות ברורה להפחתת השימוש בפחם ואספקת הביקושים הדרושים באמצעות גז טבעי ואנרגיות מתחדשות, במיוחד לאחר חיבור שדות לווייתן, כריש ותנין למערכת ההולכה של הגז הטבעי. יש לבחון שוב את ההנחות באשר לקיבולת מאנרגיות מתחדשות שתוקם עד 2025, וההספק הנדרש עד אז מתחנות כוח המוסקות בגז טבעי (פורום אנרגיה 45, 2019). שינוע אנרגיה במצב של גז יותר יעיל משינוע אנרגיה בכבלי חשמל שינוע של גז לתחנות

פרטיות בקרבה למקום הצריכה מהווה פתרון אלטרנטיבי לבעיית שינוע אנרגיה חשמלית בקווי מתח גבוה¹⁵⁰.

- מכוח החלטת ממשלה מספר 2592, מקודמים פרויקטים על ידי הממשלה לצורך תוספת קיבולת של ייצור מגז טבעי באמצעות מתקנים בעלי נצילות גבוהה יחסית. מצד אחד, חלק מאותם פרויקטים הגיעו לשלב בהליכים הסטטוטוריים שיאפשרו הקמת התחנות וחיבורן לרשת החשמל החל מ-2023 ועד 2025, אבל מצד שני, העדר מכסות ואסדרה לתחנות מהווה החסם עיקרי להקמתן (פורום אנרגיה 45, 2019).
- רשת החשמל בארץ היא רשת אמינה מאוד וחברת החשמל הינה בעלת יכולת לספק חשמל ככל הנדרש. חברת החשמל שואפת לשמור על המונופול ביצור והולכת החשמל. מטרתה של הרפורמה במשק החשמל היא יצירת הפרדה בין הולכת החשמל לבין יצרני החשמל. ההולכה תתבצע ע"י רשת ארצית, הייצור נעשה בעיקר על ידי חברת החשמל וחברות חשמל פרטיות¹⁵⁰. קידום ופיתוח משק החשמל בתנאים אלה כרוך בחסמים רבים, ברובם לא טכנולוגיים אלא רגולטוריים, כגון תיאום בין מקטע הייצור לבין מקטע ההולכה. במצב שבו קיימים מספר שחקנים בשוק המתמודדים על משאב רשת ההולכה, אין זהות אינטרסים בין המתחרים. במצב זה, חשיבותה של חברת ניהול המערכת (חברת החשמל) עולה, והיא אמורה לאזן בין השחקנים השונים ולשמור על האינטרסים השונים. לכן, נדרשת עבודה משותפת של גורמים שונים, שחלקם בעלי עדיפויות והעדפות שונות (פורום אנרגיה 45, 2019).
- קביעת מדיניות ארוכת טווח למשק האנרגיה כולל רגולציה על מנת לאפשר אימוץ תוכניות פיתוח ארוכות טווח הן למקטע הייצור והן למקטע ההולכה. ישראל היא מדינה צפופה, עם זמני פיתוח ארוכים לתשתיות אנרגיה. פיתוח משק החשמל כיום מאופיין בפתיחת תחנות כוח גדולות מונעות בגז, אנרגיות מתחדשות, פיתוח רשת ההולכה ואספקת החשמל לצרכנים. אחד האתגרים הגדולים של משרד האנרגיה ורשות החשמל יהיה ביצוע תכנון ארוך טווח וקביעת תוכניות פיתוח לטווח הארוך, תחילה למערכת ההולכה ובהמשך למקטע הייצור (פורום אנרגיה 45, 2019).
- נדרש למדוד את עלות השינוע יחסית ליצור מקומי של אנרגיה ע"י תחנות כוח אזוריות המונעות גז, אנרגיה מתחדשת או Cogeneration¹⁵⁰.
- פתרון של קו-גנרציה (ייצור חשמל קרוב לבתים באמצעות גנרטורים גדולים) מקטין את הצורך בשינוע חשמל ומאפשר ניצול של פלטות החום לשימושים אחרים כגון חימום בתים ומים חמים¹⁵⁰.
- פתרון נוסף לבעיית השינוע הוא רשתות קטנות (microgrid) ואגירה, כלומר, כאשר יש יכולת מקומית של ייצור חשמל ואגירתו. פתרון זה מקטין את הצורך בשינוע ומעלה את אמינות המערכת. עדיין יש בארץ כשלים רגולטוריים בנושא זה¹⁵⁰.
- קיימת פעילות מ"פ של חברות סטארט-אפ, בעיקר בנושא טעינה אלחוטית.
- קיים מחקר באקדמיה בנושא כבלים תת-קרקעיים על-מוליכים להעברת חשמל.
- לא נמצאה פעילות בנושא שינוע מימן, אך ישנה כבר חשיבה בנושא מ"פ שינוע מימן. נושא שינוע מימן תופס תאוצה בעולם ויש לקדם תחום זה, הן במחקר והן ברגולציה ממשלתית.

8.13.1 נספח א' - רשימת חברות לטעינה אלחוטית

name	Tag line	homepage	founded	sector	Funding stage	Product stage	employees
Logic Point	Cell Phone Charging Stations for Businesses	https://logicpoint.co.il/en/home/	2016	Consumer Electronics	Bootstrapped	Released	"1-10"
ElectReon	Wireless Electric Power System for Public Transportation	https://www.electreon.com	2013	Industrial Technologies	Public	Alpha	"1-10"
Humavox	Wireless Charging for Wearable and IoT Devices	http://www.humavox.com	2010	Consumer Electronics	C+	Released	"11-50"
Wi-Charge	Automatic Wireless Charging	http://www.wi-charge.com	2010	Consumer Electronics	A	Beta	"11-50"
Powermat Technologies	Wireless Charging for Public Spaces	https://www.powermat.com	2006	Consumer Electronics	C+	Released	"51-200"
ESTI	Android Case for iPhones	http://www.esti.me	2016	Consumer Electronics	Bootstrapped	Beta	"1-10"

BIRD (It provides conditional grants of up to 50% of a project's budget, up to 1M \$). Only Israeli partners are mentioned

2013	Bromine Compunds Ltd.	Company	Hydrogen-Halogen Regenerative Fuel Cells for Smart Grid and Renewable Energy Storage
2017	Terragenic Ltd.	Company	Safe Hydrogen Transport and Storage System

GIF

2013	Leshem Amir	BIU	Resource allocation techniques for future wireless communication networks
------	-------------	-----	---

ISF

2013	Mordechay Herskowitz Miron Landau	BGU	Catalytic Conversion of CO ₂ and Hydrogen to Liquid Fuels
2013	David Milstein	Weizmann	Novel approaches for hydrogen storage based on hydrogenation-dehydrogenation reactions

8.13.3 נספח ג: בקשות לפטנטים של ממציאים ישראלים

מקור הנתונים הוא Espacenet של ה-EPO. שאילתת החיפוש כללה את את מספרי סיווג הפטנטים הבינלאומי (IPC):

(underground power cable H02G 9/0 OR superconductor cable H01B12 OR wireless power H02J 50 OR Hydrogen Transmission and Distribution H01M 8/22 ,C25B 1/02).

Title	Pub year	Inventor(s)	Applicant(s)	app auth
SYSTEM AND METHOD FOR CHEMICAL POTENTIAL ENERGY PRODUCTION	2011	KARNI JACOBג, [IL]; FERDIMAN GIDONג, [IL]; ALIOSHIN YURYג, [IL]	YEDA RES & DEV	US
SILICON-AIR BATTERIES	2011	EIN-ELI YAIRג, [IL]; MACDONALD DIGBY DONALDג, [US]	EIN-ELI YAIR	US
POROUS CLUSTERS OF SILVER POWDER COMPRISING ZIRCONIUM OXIDE FOR USE IN GAS DIFFUSION ELECTRODES, AND METHODS OF PRODUCTION THEREOF	2012	KHASIN ERNSTג, [US]; ZABAN ARIEג, [US]	KHASIN ERNST	US
POROUS CLUSTERS OF SILVER POWDER PROMOTED BY ZIRCONIUM OXIDE FOR USE AS A CATALYST IN GAS DIFFUSION ELECTRODES, AND METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF	2012	KHASIN ERNSTג, [IL]; ZABAN ARIEג, [IL]	KHASIN ERNST	US
SILICON-AIR BATTERIES	2012	EIN-ELI YAIRג, [IL]; MACDONALD DIGBY DONALDג, [US]	EIN-ELI YAIR	US
ELECTROLYTE SYSTEM FOR METAL-AIR BATTERIES AND METHODS OF USE THEREOF	2013	KHASIN ERNSTג, [IL]	KHASIN ERNST	US
DIRECT LIQUID FUEL CELL HAVING AMMONIA BORANE, HYDRAZINE, DERIVATIVES THEREOF OR/AND MIXTURES THEREOF AS FUEL	2013	PATOLSKY FERNANDOג, [IL]; FILANOVSKY BORISג, [IL]; GRANOT ERANג, [IL]; PRESMAN IGORג, [IL]; KURAS ILIAג, [IL]; OSIROFF RICARDOג, [IL]; SHAPIRA OPHERג, [IL]	PATOLSKY FERNANDO	US
PROCESS OF PREPARING GRIGNARD REAGENT	2014	EIN-ELI YAIRג, [IL]; LUDER DANIELג, [IL]; KRAYTSBERG ALEXANDERג, [IL]	TECHNION RES & DEV FOUNDATION	US
HIGH TEMPERATURE SUPERCONDUCTIVE FILMS AND METHODS OF MAKING THEM	2014	DEUTSCHER GUYג, [IL]; AZOULAY MISHAELג, [IL]; ALMOG BOAZג, [IL]	UNIV RAMOT	US
Use of Ammonia as Source of Hydrogen Fuel and as a Getter for Air-CO2 in Alkaline Membrane Fuel Cells	2014	PAGE MILESג, [IL]; DEKEL DARIOג, [IL]; GOTTESFELD ZIVג, [IL]; GOTTESFELD SHIMSHONג, [US]	CELLERA INC	US
PROCESSES FOR PREPARING N-ETHYL-2-METHYLPYRIDINIUM BROMIDE AND N-ETHYL-3-METHYLPYRIDINIUM BROMIDE	2014	BEN-DAVID IRISג, [IL]; MIASKOVSKI GERSHONג, [IL]; KOMPANIETS IGORג, [IL]	BROMINE COMPOUNDS LTD	US
Superconducting Levitation Surfaces	2014	SARAF AMIRג, [IL]; ALMOG BOAZג, [IL]	QUANTUM EXPERIENCE LTD	US
ADJUSTABLE INDUCTIVE POWER TRANSMISSION PLATFORM	2014	AZANCOT YOSSIG, [IL]; BEN-SHALOM AMIRג, [IL]; ROFE ARIKג, [IL]; GREENWALD OOLAג, [IL]; LEIBOVITZ ALFREDג, [IL]; OZ AMIג, [IL]	POWERMAT TECHNOLOGIES LTD	US
SYSTEM AND METHOD FOR REGULATING INDUCTIVE POWER TRANSMISSION	2014	MACH ELIESERג, [IL]; ROFE ARIKג, [IL]; GREENWALD OOLAג, [IL]; RAVEH GUYג, [IL]	POWERMAT TECHNOLOGIES LTD	US
METHODS AND APPARATUS OF ELECTROCHEMICAL PRODUCTION OF CARBON MONOXIDE, AND USES THEREOF	2015	LUBOMIRSKY IGORג, [IL]; KAPLAN VALERYג, [IL]	YEDA RES & DEV	US

EMBEDDED INTERFACE FOR WIRELESS POWER TRANSFER TO ELECTRICAL DEVICES	2015	OZANA CHARLIE, [IL]; BEN HANOCH RACHEL, [IL]; SADAN DUSCHACK EINAV, [IL]; AZANCOT YOSSIA, [IL]; BEN-SHALOM AMIR, [IL]; GREENWALD OOLA, [IL]; ROFE ARIK, [IL]; LEI-BOVITZ ALFRED, [IL]; RHODES DOV, [IL]; MEYUHAS NOAM, [IL]	POWERMAT TECHNOLOGIES LTD	US
SYSTEM AND METHOD FOR INCREASING OPERATIONAL RANGE OF INDUCTIVE POWER TRANSMISSION	2015	KDOSHIM MOTI, [IL]; ASHERY MOTI, [IL]; MACH ELIESER, [IL]; GREENWALD OOLA, [IL]; COHEN-OGEN ITAMAR, [IL]	KDOSHIM MOTI	US
SYSTEMS AND METHODS FOR SMART WIRELESS CHARGING	2015	PRIEV AVI APRIEV, [IL]; POGORELIK OLEG, [IL]; PORAT SHAHAR, [IL]; NAYSHTUT ALEX, [IL]	PRIEV AVI APRIEV	US
SYSTEMS AND METHODS FOR MANAGING A DISTRIBUTED WIRELESS POWER TRANSFER NETWORK FOR ELECTRICAL DEVICES	2016	ALPERIN EDUARDO, [IL]; KOREN YUVAL, [IL]; OZ AMI, [IL]; REUVENI NADAV, [IL]; BEN HANOCH RACHEL, [IL]; PODKAMIEN IAN, [IL]; SHERMAN ITAY, [IL]	POWERMAT TECHNOLOGIES LTD	US
REMOTELY POWERED SENSORY IMPLANT	2016	GOLDSHTEIN OREN, [IL]; DAFFAN AHARON, [IL]; WINSHTEIN RONNY, [IL]	VECTORIOUS MEDICAL TECHNOLOGIES LTD	US
APPARATUS, SYSTEM AND METHOD OF MULTIPLE DEVICE WIRELESS POWER TRANSFER	2016	PORAT SHAHAR, [IL]; NGYUEN DON J, [US]; MATOS GARY N, [US]; GREEN EVAN R, [US]; REA ADAM D, [US]	PORAT SHAHAR	US
EFFICIENCY MONITOR FOR INDUCTIVE POWER TRANSMISSION	2016	RAVEH GUY, [IL]; ROFE ARIK, [IL]; GREENWALD OOLA, [IL]; BEN SHALOM AMIR, [IL]; MACH ELIESER, [IL]; GLUZMAN ILYA, [IL]; MUSHKOVICH OZ, [IL]	POWERMAT TECHNOLOGIES LTD	US
WIRELESS POWER RECEIVER AND HOST CONTROL INTERFACE THEREOF	2016	MACH ELIESER, [IL]; MOSHKOVICH OZ, [IL]; SHERMAN ITAY, [IL]	POWERMAT TECHNOLOGIES LTD	US
SYSTEM AND METHOD FOR TRIGGERING POWER TRANSFER ACROSS AN INDUCTIVE POWER COUPLING AND NON RESONANT TRANSMISSION	2016	BEN-SHALOM AMIR, [IL]; GREENWALD OOLA, [IL]; ROFE ARIK, [IL]; MOTI ASHERI, [IL]; MACH ELIESER, [IL]; MOSHKOVICH OZ, [IL]; RAVEH GUY, [IL]	POWERMAT TECH LTD	US
CATALYTIC FORMATION OF CARBON MONOXIDE (CO) AND HYDROGEN (H2) FROM BIOMASS	2016	NEUMANN RONNY, [IL]; SARMA BIDYUT-BIKASH, [IL]	YEDA RES & DEV	US
INDUCTIVE POWER OUTLET LOCATOR	2016	AZANCOT YOSSIA, [IL]; GREENWALD OOLA, [IL]; BEN-SHALOM AMIR, [IL]; ROFE ARIK, [IL]	POWERMAT TECH LTD	US
SYSTEM AND METHODS OF CENTRALLY MANAGING A WIRELESS POWER OUTLET FOR POWERING ELECTRICAL DEVICES	2016	BEN HANOCH RACHEL, [IL]; PODKAMIEN IAN, [IL]; KIESEL AMIT, [IL]; SALHUV AMIR, [IL]; KOREN YUVAL, [IL]; RAVEH GUY, [IL]; OZ AMI, [IL]; GREENWALD OOLA, [IL]; GLUZMAN ILYA, [IL]; MACH ELIESER, [IL]	POWERMAT TECH LTD	US
SENSOR AND METHOD FOR FOREIGN OBJECT DETECTION IN INDUCTION ELECTRIC CHARGER	2016	FILIPPENKO ALEXANDER, [US]; KOCHER MARK, [US]	SCHNEIDER ELECTRIC USA INC	US
SYSTEM AND METHOD FOR SELECTING POWER TRANSMITTERS ACROSS A WIRELESS POWER COUPLING	2016	PODKAMIEN IAN, [IL]; SALHUV AMIR, [IL]	PODKAMIEN IAN	US
EFFICIENT AND ROBUST WIRELESS ENERGY TRANSFER	2016	SILBERBERG YARON, [IL]; SUCHOWSKI HAIM, [IL]; VITANOV NIKOLAY V, [IL]; RANGELOV ANDON A, [IL]	YEDA RES & DEV	US
INDUCTIVE CHARGING	2016	ANTTILA SAMI, [FI]; BYMAN VILLE, [FI]	POWERMAT TECH LTD	US
WIRELESS POWER TRANSMISSION	2016	GLUZMAN ILYA, [IL]; MACH ELIESER, [IL]	POWERMAT TECH LTD	US

WIRELESS POWER TRANSMISSION SYSTEM AND METHOD CONTROLLED VIA DIGITAL MESSAGES	2016	MACH ELIESERλ€,[IL]; MOSHKOVICH OZλ€,[IL]; KOREN YUVALλ€,[IL]; RAVEH GUYλ€,[IL]; SHERMAN ITAYλ€,[IL]; GREENWALD OOLAλ€,[IL]; ROFE ARIKλ€,[IL]; PODKAMIEN IANλ€,[IL]	POWERMAT TECH LTD	US
METHOD AND SYSTEM FOR MANAGING WIRELESS POWER TRANSFER FOR ELECTRICAL DEVICES	2016	ALPERIN EDUARDOλ€,[IL]; KANTOR AYANλ€,[IL]; PODKAMIEN IANλ€,[IL]	ALPERIN EDUARDO	US
SYSTEM AND METHOD FOR RESPONDING TO ACTIVATION OF OVER VOLTAGE PROTECTION MECHANISMS DURING WIRELESS POWER TRANSFER	2016	MACH ELIESERλ€,[IL]; MOSHKOVICH OZλ€,[IL]; PODKAMIEN IANλ€,[IL]; RAVEH GUYλ€,[IL]; KOREN YUVALλ€,[IL]; GREENWALD OOLAλ€,[IL]; GLUZMAN ILYAλ€,[IL]	POWERMAT TECH LTD	US
SYSTEM AND METHODS FOR SENSOR BASED COIL MONITORING OF A WIRELESS POWER RECEIVER	2016	GLUZMAN ILYAλ€,[IL]; MACH ELIESERλ€,[IL]; MOSHKOVICH OZλ€,[IL]; GREENWALD OOLAλ€,[IL]; RAVEH GUYλ€,[IL]; KDOSHIM MOTIλ€,[IL]; SALHUV AMIRλ€,[IL]	POWERMAT TECH LTD	US
WIRELESS POWER OUTLET AND METHOD OF TRANSFERRING POWER THEREBY	2016	MACH ELIESERλ€,[IL]; MOSHKOVICH OZλ€,[IL]; GLUZMAN ILYAλ€,[IL]; GREENWALD OOLAλ€,[IL]; RAVEH GUYλ€,[IL]	POWERMAT TECH LTD	US
SYSTEM AND METHOD FOR PROVIDING WIRELESS POWER TRANSFER FUNCTIONALITY TO AN ELECTRICAL DEVICE	2017	RAAB YOELλ€,[IL]; RAINES MOSHEλ€,[IL]; HAMISHA CHARLEλ€,[IL]; SHERMAN ITAIλ€,[IL]; SHRAGA ROTEMλ€,[IL]; NUDELMAN ARYEλ€,[IL]; BRAHA ILANλ€,[IL]; OZANA CHARLIEλ€,[IL]	POWERMAT TECH LTD	US
A Wireless Charging Device and Methods of Use	2017	MANOVA-ELSSIBONY ASAFλ€,[IL]	HUMAVOX LTD	US
IMPLANT HOLDER AND SUTURE GUIDE	2017	MASHIACH ADIλ€,[IL]	MASHIACH ADI	US
SPATIALLY DISTRIBUTED LASER RESONATOR	2017	DELLA-PERGOLA REFAELλ€,[IL]; ALPERT ORTALλ€,[IL]; NAHMIAS OMERλ€,[IL]; VAISLEIB VICTORλ€,[IL]	WI-CHARGE LTD	US
METHODS AND APPARATUS FOR COLLOCATING ELECTROMAGNETIC COILS AND ELECTRONIC CIRCUITS	2017	ROSENFELD JONATHANλ€,[IL]	VAYYAR IMAGING LTD	US
UNIFIED INDUCTIVE DIGITAL PROTOCOL	2017	MACH ELIESERλ€,[IL]; KOREN YUVALλ€,[IL]; RAVEH GUYλ€,[IL]; MOSHKOVICH OZλ€,[IL]	POWERMAT TECH LTD	US
COPLANAR WIRELESS ENERGY TRANSFER	2017	ZILBERSHLAG MICHAELλ€,[IL]; NAVEH NERIλ€,[IL]	LEVITICUS CARDIO LTD	US
PINLESS POWER COUPLING	2017	AZANCOT YOSSIAλ€,[IL]; BEN-SHALOM AMIRλ€,[IL]; GREENWALD OOLAλ€,[IL]; ROFE ARIKλ€,[IL]	POWERMAT TECH LTD	US
TRANSMISSION-GUARD SYSTEM AND METHOD FOR AN INDUCTIVE POWER SUPPLY	2017	AZANCOT YOSSIAλ€,[IL]; BEN-SHALOM AMIRλ€,[IL]; GREENWALD OOLAλ€,[IL]; ROFE ARIKλ€,[IL]; LEIBOVITZ ALFREDλ€,[IL]; ASHERY MOTIλ€,[IL]	POWERMAT TECH LTD	US
ENERGY HARVESTING WITH TWO CONDUCTING ANTENNA WITHIN DIFFERENT SUBSTANCES	2017	MANOVA-ELSSIBONY ASAFλ€,[IL]	HUMAVOX LTD	US
WIRELESS LASER SYSTEM FOR POWER TRANSMISSION UTILIZING A GAIN MEDIUM BETWEEN RETROREFLECTORS	2017	ALPERT ORTALλ€,[IL]; PASCHOTTA RUDIGERλ€,[CH]	WI-CHARGE LTD	US
POOL CLEANING ROBOT HAVING A FILTERING UNIT AND A SENSOR	2018	REGEV OFERλ€,[IL]; PHILLPOT NICHOLASλ€,[IL]; HADARI YAIRλ€,[IL]; WITELSON SHAYλ€,[IL]	MAYTRONIC S LTD	US
DYNAMIC-RANGE ACTIVE FLAT-TOBUS SPLIT-PHASE AGGREGATOR	2018	NEWMAN JOSHUA HERSHELλ€,[IL]	NEWMAN JOSHUA HERSHEL	US
SPLIT-PHASE HIGH-EFFICIENCY REACTIVE ENHANCED ACTIVE TRANSDUCER	2018	NEWMAN JOSHUA HERSHELλ€,[IL]	NEWMAN JOSHUA HERSHEL	US

SYSTEMS AND METHODS FOR BUSINESS POWER MANAGEMENT PERTAINING TO WIRELESS POWER TRANSFER	2018	ALPERIN EDUARDOλ€,[IL]; OZ AMIλ€,[IL]; BEN HANOCH RACHELλ€,[IL]; PODKAMIEN IANλ€,[IL]	POWERMAT TECH LTD	US
AUTONOMOUS POOL CLEANING ROBOT	2018	WITELSON SHAYλ€,[IL]; TRYBER EYALλ€,[IL]	WITELSON SHAY	US
Novel Probes Arrangement	2018	MANOVA-ELSSIBONY ASAFλ€,[IL]	HUMAVOX LTD	US
SYSTEM AND METHODS FOR USING A WIRELESS POWER MODEM FOR CONTROL OF WIRELESS POWER TRANSFER	2018	PODKAMIEN IANλ€,[IL]; OZ AMIλ€,[IL]; REUVENI NADAVλ€,[IL]; KOREN YUVALλ€,[IL]; ALPERIN EDUARDOλ€,[IL]	POWERMAT TECH LTD	US
WIRELESS POWER DISTRIBUTION SYSTEM	2018	SAGI RANλ€,[IL]; MOR ORI REFAELλ€,[IL]; GOLAN LIORλ€,[IL]; NAHMIAS OMERλ€,[IL]; RONEN EITANλ€,[IL]; ALPERT ORTALλ€,[IL]	WI CHARGE LTD	US
Low-Power High-Accuracy Clock Harvesting in Inductive Coupling Systems	2018	HERSHKO MATANλ€,[IL]; GOLDSHTEIN ORENλ€,[IL]; DAFFAN AHARONλ€,[IL]	VECTORIOUS MEDICAL TECH LTD	US
RECHARGEABLE IMPANTABLE CARDIOVERTER DEFIBRILLATOR	2018	STROMMER GERAλ€,[IL]; BRODER AVRAHAMλ€,[IL]	NEWSPACE LTD	US
Device for Displaying in Response to a Sensed Motion	2018	BINDER YEHUDAλ€,[IL]	MAY PATENTS LTD	US
SYSTEM AND METHOD FOR CODED COMMUNICATION SIGNALS REGULATING INDUCTIVE POWER TRANSMISSIONS	2018	AZANCOT YOSSIλ€,[IL]; ROFE ARIKλ€,[IL]; GREENWALD €,[IL]; BEN-SHALOM AMIRλ€,[IL]; ASHERY MOTIλ€,[IL]; LEIBOVITZ ALFREDλ€,[IL]	POWERMAT TECH LTD	US
ELECTRICAL CHARGER WITH ELECTRICAL POWER METERING	2018	MESSINGER SAMUELλ€,[IL]	MESSINGER SAMUEL	US
Retrofit wireless solar charger apparatus and methods	2018	KOIFMAN DAVIDλ€,[IL]	KOIFMAN DAVID	US
ANTENNA CONFIGURATION	2018	ORON GURλ€,[IL]; PLOTKIN ANTONλ€,[IL]; BENJAMIN ERANλ€,[IL]; FIRTEL ALEXANDERλ€,[IL]; GREENBERG AMIELλ€,[IL]; ELISHA YIGALλ€,[IL]	BLUEWIND MEDICAL LTD	US
SYSTEM FOR OPTICAL WIRELESS POWER SUPPLY	2018	MOR ORI REFAELλ€,[IL]; ALPERT ORTALλ€,[IL]; SLEPOY ALEXANDERλ€,[US]; GOLAN LIORλ€,[IL]; SAGI RANλ€,[IL]; SHMUKLER VADIMλ€,[IL]; RONEN EITANλ€,[IL]; NAHMIAS OMERλ€,[IL]; VAISLEIB VICTORλ€,[IL]	WI CHARGE LTD	US

8.13.4 נספח ד': סיכום ראיון עם פרופ' גרשון גרוסמן

הריאיון נערך בתאריך 25/11/2019

משתתפים: ד"ר דפנה גץ, ציפי בוכניק וסימה ציפרפל

פרופ' גרוסמן הינו עמית מחקר בכיר במוסד שמואל נאמן, ראש פרויקט פורום אנרגיה וחבר בפקולטה להנדסת מכונות בטכניון.

שינוע אנרגיה

הבעיה נוצרת בעיקר מקנה המידה של הרשת, ייצור חשמל בנקודה מסוימת (בתחנת כוח) והעברתו לנקודה אחרת (צרכן). למשל, אגירת אנרגיה שמש (אנרגיה רוח לא רלבנטית בישראל) בדרום הארץ והעברתה לצפון הארץ (יש צורך בפרון לדרום הארץ כדי למנוע הפסדי הובלה).

המשמעויות: ישנם הפסדים שכרוכים בהולכת אנרגיה, בנוסף, יש להקים רשת של כבלים מתחת לאדמה.

הטכנולוגיה המדוברת היום בנושא של כבלים, היא על-מוליכות: קירור נחושת ל-4 קלווין יכולה להוביל חשמל בכמעט אפס התנגדות. נחושת היא חומר טוב אבל לקרר אותה ל-4 קלווין זה קשה. ישנם כבלים העשויים ממתכות אחרות שהן סגסוגות של מתכות, היתרון שלהן הוא שכבר ב-170 קלווין רואים את תופעת העל-מוליכות (Superconductivity).

יש לשאול האם זה מתאים לישראל? כבלים אלו מאוד יקרים ודורשים תחזוקה. בארץ אין כל כך מישהו שעוסק בזה. ישנם פתרונות פשוטים וזולים יותר, אף כי פחות יעילים. מערכות הקירור הן יקרות ומסובכות ונדרשת השקעה כספית רבה עבורן.

לפרופ' יאיר עין-אלי יש פעילות בנושא.

8.13.5 סיכום ראיון עם עופר גולדהירש, הרשות לחדשנות

הראיון נערך בתאריך 30.12.2019

ממוסד נאמן: סימה ציפרפל

בנושא של שינוע אנרגיה - נדרש למדוד את עלות השינוע יחסית ליצור מקומי של אנרגיה ע"י תחנות כח אזוריות המונעות גז, אנרגיה מתחדשת או Cogeneration.

קוגנרציה - ייצור חשמל קרוב לבתים באמצעות גנרטורים גדולים. פתרון זה מקטין את הצורך בשינוע חשמל ומאפשר ניצול של פלטות החום לשימושים אחרים כגון חימום בתים ומים חמים.

שינוע אנרגיה במצב של גז יותר יעיל משינוע אנרגיה בכבלי חשמל שינוע של גז לתחנות פרטיות בקרבה למקום הצריכה מהווה פתרון אלטרנטיבי לבעיית שינוע אנרגיה חשמלית בקווי מתח גבוה.

רשת החשמל בארץ היא רשת אמינה מאוד וחברת החשמל הינה בעלת יכולת לספק חשמל ככל הנדרש. חברת החשמל שואפת לשמור על המונופול ביצור והולכת החשמל.

קיימת מגמה של רשות החשמל ליצירת הפרדה בין הולכת החשמל לבין יצרני החשמל. ההולכה תבצע ע"י רשת ארצית, הייצור נעשה בעיקר על ידי חברת החשמל וחברות חשמל פרטיות

הכשל המתמשך בשוק האנרגיה הוא במעבר לאנרגיה ירוקה. בתחום זה יש חסמים שנוצרו ע"י חברת החשמל השואפת לשמור על מעמדה המונופוליסטי ולעיתים התנגדות של ארגונים ירוקים הדואגים לרווחת האדם, הטבע והנוף. (תחנות כוח המייצרות אנרגיה בעזרת רוח פוגמות בנוף וברווחת הציפורים). תשתיות לאגירת אנרגיה שאובה פוגמים בנוף. ניתן להתמודד עם אתגרים אלה תוך פגיעה מינימאלית בסביבה.

אנרגיה שאובה – דרך לשמור אנרגיה במאגר מים גבוה, בזמן עודף באנרגיה. כיום נבנה פרויקט כזה באתר ליד בקיבוץ מעלה הגלבע. "תעלת הימים" התיימרה לתת ערך רב בגלל הפרש הגבהים בין הים התיכון לעמק הירדן.

אגירת אנרגיה של מערכות PV קטנות במצברים בבתיים. שיטה המתפתחת אצל יצרנים פרטיים קטנים השואפים למקסם את ערך האנרגיה שהם מיצרים. בדרך כלל לשימוש עצמי ויתכן גם למכירה לרשת. נושא זה עדיין לא מוסדר מבחינת הרגולציה בארץ. היצרנים הביתיים מוכרים כיום את האנרגיה לרשת במחיר אחיד.

החשמל. היתרון של אגירה בבתיים הוא שניתן להשתמש בחשמל הנאגר במשך שעות היום לשעות הלילה כאשר מחירי החשמל יקרים יותר. (הנושא קשור לתעריפי החשמל) בדיון בנושא שינוע האנרגיה נדרש להזכיר גם את נושא הרשתות קטנות (microgrid). פתרונות המיקרוגרד מקטינים את הצורך בשינוע ומעלים את אמינות הרשת. גם בתחום זה יש חסמים רגולטוריים המונעים התפתחות מהירה.

אסור לזלזל בחסמים הרגולטוריים. נושא יצור והולכת אנרגיה הוא נושא מורכב הדורש בחינה מעמיקה של פרמטרים רבים. נדרש אולי ארגון טוב יותר של התהליכים כך שניתן יהיה לקדם את הפרויקטים בקצב מהיר וחזוי יותר.

כניסה מסיבית של שימוש ברכב חשמלי תשנה את מערך הדרישות ליצור ושינוע אנרגיה. האנרגיה הנצרכת ע"י רכב חשמלי שקולה לאנרגיה של בית אב. כשמבצעים את החישוב לצפי הביצועים הנדרש מרשת החשמל בהינתן שימוש מסיבי ברכבים חשמליים, מגיעים לכך שהרשת בתצורתה הנוכחית לא תעמוד בדרישות להולכה ויצור אנרגיה. חלק מהפתרונות לנושא זה הם מיקרו גריד וקוגנרציה קרוב לצרכנים.

נושאים חדשים בתחום האנרגיה הנמצאים בתחילת דרכם:

סוללות קוואנטום - טכנולוגיה מתקדמת, הנמצאת כיום עדיין בחיתוליה, ותהיה המהפכה האמיתית בנושא של סוללות לאגירת אנרגיה.

Organic PV- OPV. PV מחומרים אורגניים. שיטה שתאפשר יצור מאסיבי, זול ויעיל של אנרגיה חשמלית מאור השמש. היעילות כיום של תאי ה OPV נמוכה מה PV אך הדרך המחקרית פתוחה לשיפורים רבים בתחום הכוללים יעילות, צורת השימוש (למשל צביעה של חלונות או קירות) ועוד.

תאי דלק מימניים להנעת רכבים חשמליים. תהליך יצור נקי של אנרגיה. מימן קל יחסית לשינוע ואחסון. מדברים על טכנולוגיה זו כתחליף עתידי למצברים ברכבים החשמליים. הטכנולוגיה נמצאת בניסויים אצל יצרניות רכב מובילות.

Supercapacitors טכנולוגיה המאפשרת יצירת זרם התנעה חזק בנפח יחסית קטן. טכנולוגיה מתפתחת המאפשרת החלפת חלק מהמצברים ברכבים כבדים. בארץ קיים מפעל מוביל בטכנולוגיה זו ליצור Supercapacitors למשאיות .

8.14 מקורות

- פרופ' גרשון גרוסמן, נעמה שפירא. 2019. פורום אנרגיה 45: חסמים וזרזים להקמת מתקני ייצור חשמל פרטיים בישראל. מוסד שמואל נאמן. אוחר מתוך: <https://www.neaman.org.il/Energy-Forum-Barriers-and-catalysts-for-the-establishment-of-private-electricity-production-facilities-in-Israel>
- פרופ' גרשון גרוסמן, יגאל עברון. 2016. פורום אנרגיה 37: ביטחון באספקת אנרגיה בישראל. מוסד שמואל נאמן. אוחר מתוך: <https://www.neaman.org.il/EF37-Energy-security-in-Israel-HEB>
- משרד האנרגיה. נדלה בדצמבר 2019. https://www.gov.il/he/Departments/Guides/fuel_market
- https://www.gov.il/he/Departments/Guides/natural_gas_basics?chapterIndex=1
- רשות החשמל. נדלה בדצמבר 2019. <https://pua.gov.il/DomesticConsumers/Pages/Handasa8.aspx>
- A National Hydrogen Roadmap. 2018. Pathways to an economically sustainable hydrogen industry in Australia. Retrieved from: <https://www.csiro.au/en/Do-business/Futures/Reports/Energy-and-Resources/Hydrogen-Roadmap>
- Adalidda, Online Community. (2019). Retrieved from: <https://fr.adalidda.com/posts/yqC7rKkfkPRiKywLy/global-superconducting-cables-market-size-2019-industry>
- Bcc Research. (December 2018). Merchant Hydrogen: Industrial Gas and Energy Markets.
- Commission of Wisconsin. (2017). Retrieved from: <https://psc.wi.gov/Pages/Home.aspx>
- EEP - Electrical Engineering Portal. (2017). Retrieved from: <https://electrical-engineering-portal.com/electric-power-systems>
- EIA, US Energy Information Administration. Retrieved on December 2019 from: <https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/delivery-to-consumers.php>
- Electrical India. (2018). Retrieved from: <https://www.electricalindia.in/trends-in-underground-cables/>
- Elprocus. (2019). Retrieved from: <https://www.elprocus.com/basics-of-underground-electric-transmission-explained/>
- Europacable. (2017). Electricity Transmission of Tomorrow. Underground and Subsea Cables in Europe. Retrieved from: https://www.europacable.eu/wp-content/uploads/2017/08/Europacable-Brochure-FINAL_Web-File.pdf
- Fortune Business Insights. (2019). Retrieved from: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/high-voltage-cable-market-100794>
- GIR - Global Info Research. (2019). Global Superconducting Cables Market 2019 by Manufacturers, Regions, Type and Application, Forecast to 2024. Retrieved on December 2019 from: https://www.globalinforesearch.com/global-superconducting-cables-market_p172830.html
- IRENA. (2019). Hydrogen: A renewable energy perspective. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Retrieved from: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Hydrogen_2019.pdf

- Marian, A., Ballarino, A., Catalan, C., Dittmar, N., Escamez, G., Giannelli, S., ... & Poumarède, C. (2017, March). An MgB 2 HVDC Superconducting Cable for Power Transmission with a Reduced Carbon Footprint. *In International Conference on Eco-Design in Electrical Engineering* (pp. 129-135). Springer, Cham.
- Markets and Markets. (2019). Wireless Power Transmission Market by Technology and Geography - Global Forecast to 2022. Retrieved on December 2019 from: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/wireless-power-market-168050212.html?gclid=CjwKCAiAi4fwBRBxEiwAEO8_HuPLz90Xkt_9o7NjX9CyKf-dCptm_nh_1JzkPhpbBK3lpHzj2soNPhoCNNgQAvD_BwE
- Market Study Report. (2019). Global Superconducting Cables Market Growth 2019-2024. Retrieved on December 2019 from: <https://www.marketstudyreport.com/reports/global-superconducting-cables-market-growth-2019-2024>
- Mordor Intelligence, 2019. Hydrogen Gas Market - Growth, Trends, and Forecast (2019-2024). Retrieved on December 2019 from: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/hydrogen-gas-market?gclid=CjwKCAiAi4fwBRBxEiwAEO8_HjfPaMMz6sflgo7xKcqBLq1V65Kss9l6uo3fygZSoMiqoSJIFBP_MxoCk0QAvD_BwE
- National Grid Plc, 2018. Future of Electricity Transmission. Retrieved from: <https://www.nationalgrid.com/>
- Pan European Networks. (2018). Retrieved from: <https://www.scitecheuropa.eu/superconductor-technology/87783/>
- ScienceX. (2018). Retrieved from: <https://phys.org/news/2018-07-superconductor-technology-transmission-grid.html>
- Sumi, F. H., Dutta, L., & Sarker, F. (2018). Future with Wireless Power Transfer Technology. *J Electr Electron Syst*, 7(279), 2332-0796.
- Transparency Market Research, 2018. Wireless Power Transmission Market 2018-2026. Retrieved on December 2019 from: <https://www.transparencymarketresearch.com/pressrelease/wireless-power-transmission-market-2018-2026.htm>
- The World Energy Council. 2019. New Hydrogen Economy – Hope or Hype? Innovation Insights Brief. Retrieved from: <https://www.worldenergy.org/publications/entry/innovation-insights-brief-new-hydrogen-economy-hype-or-hope>
- Tomita, M., Suzuki, K., Fukumoto, Y., Ishihara, A., Akasaka, T., & Kobayashi, Y. (2017). Energy-saving railway systems based on superconducting power transmission. *Energy*, 122, 579-587.
- US Department of Energy, 2019. Retrieved from: https://afdc.energy.gov/fuels/hydrogen_production.html
- Yamaguchi, S., Iitsuka, T., Osada, M., & Yokoyama, R. (2018). Asian international grid connection and potentiality of DC superconducting power transmission. *Global Energy Interconnection*, 1(1), 11-19.

9 פוטוניקה אינטגרטיבית/סיליקון פוטוניקס – Silicon Photonic /Integrated Photonics

תודתנו לחיים רוסי ולד"ר אלעד מנטוביץ' על הראיונות שקיימנו איתם בנושא.

9.1 רקע

סיליקון פוטוניק היא טכנולוגיה בה מועברים נתונים בין מרכזי נתונים על ידי שימוש בקרניים אופטיות שיכולות להעביר מידע רב יותר, למרחקים ארוכים יותר ובקצב מהיר יותר, מאשר במוליכים אלקטרוניים. בטכנולוגיה זו, סיבים אופטיים בנויים ישירות על שבב מוליכים למחצה כדי לשפר את מהירות העברת הנתונים. ניתן לייצר מכשירים מבוססי סיליקון פוטוניק בטכנולוגיות ייצור שונות. עם זאת, מכיוון שרוב השבבים האלקטרוניים מיוצרים כיום על מצעי סיליקון, ניתן ליצור מכשירים היברידיים שיש בהם רכיבים אופטיים ואלקטרוניים משולבים על צ'יפ אחד. למכשירים מבוססי סיליקון פוטוניק יש יישומים בתחומים שונים, כולל תקשורת אופטית, נתבים אופטיים ומעבדי אותות, טלקומוניקציה ארוכה, תצוגת שדות אור ועוד.

הגורם שהניע את התעשייה למציאת האלטרנטיבה של מעגלים משולבים פוטוניים (PIC- photonic integrated circuit), היתה המגבלה שקיימת במעגלים אלקטרוניים משולבים (electronic integrated circuits) של מספר גדול והולך של טרנזיסטורים על מצע סיליקון בודד. מעגלים משולבים פוטוניים פותחו כדי לספק מהירות גבוהה יותר, בגודל קטן יותר ובפונקציונליות מתקדמת.

רשתות חשמל מסורתיות, המורכבות מאוסף מתגים אלקטרוניים (עם רכיבים חשמליים שונים) מחוברים ביניהם באמצעות רשת של חיבורי סיבים אופטיים דרך רשתות מקומיות, מטרופוליטניות או רשתות רחבות (WANs). על מנת לספק מענה לדרישה הגוברת לרוחב פס וגמישות, רשתות אלה עוברות שינוי מתמיד על ידי הוספת מתגים וסיבים נוספים, הגדלת הקצב לסיב ושדרוג הגודל והפונקציונליות של המתגים. רשת מוגברת כזו מובילה בסופו של דבר לרשתות מורכבות וגדולות שהינן יקרות וקשות להתקנה, הפעלה ותחזוקה. התפתחות הטכנולוגיה האופטית מבטיחה רשת אופטית מהפכנית שתוביל לשיפור כלכלי, גמישות וחוזק תוך שימוש בבסיס הסיבים הקיים.

מעגל משולב פוטוני דומה ל IC-אלקטרוני. בעוד שהאחרון משלב קבלים, טרנזיסטורים ונגדים רבים, PIC משלב רכיבים אופטיים מרובים כגון מודולאטורים (modulators), לייזרים, גלאים, multiplexers, demultiplexers, attenuators ומגברים אופטיים. PICs בקנה מידה גדול, בדומה למקביליהם האלקטרוניים בקנה מידה גדול, מגדילים את היקף האינטגרציה, בשל עשרות רכיבים אופטיים המשולבים במכשיר אחד.

נכון לעכשיו, מכשירי PIC משולבים בהצלחה במכשירים קטנים כמו מכשירים ניידים ומכשירי רדיו, והם צפויים לשמש בפעולות RF וחישה מתקדמות בעתיד הקרוב. תחום הפוטוניקה של הסיליקון תפס תאוצה רבה מכיוון שהוא מאפשר ייצור זול של מכשירים אופטיים, תוך שימוש בטכניקות ייצור סטנדרטיות, המשולבות בשבב מיקרואלקטרוני.

למעגלים משולבים פוטוניים יש יישומים במגזרים שונים, כולל תקשורת אופטית, חישה, ביו-פוטוניקה ועיבוד אותות אופטיים. היישום שלהם בתקשורת אופטית היווה את נתח השוק הגדול ביותר בשנת 2016, בשווי של 254.0 מיליון דולר, וצפוי להמשיך ולהוביל את השוק. הגדלת הביקוש לתקשורת במהירות גבוהה עם פחות שיבושים היא אחד הגורמים העיקריים שגורמים לביקוש למעגלים משולבים פוטוניים. השוק העולמי של מעגלים משולבים פוטוניים הוערך ב-2016 בכ-426.0 מיליון דולר והוא צפוי להגיע ל-1.8 מיליארד דולר עד שנת 2022, גידול ב- CAGR של 27.5% משנת 2017 ועד 2022.

ה-Roadmap של מעגלים משולבים פוטוניים

הרעיון של פוטוניקה אינטגרטיבית ידוע מאז כניסת המעגלים המשולבים האלקטרוניים לשוק בשנות השישים. בשנת 1965 חזה גורדון מור שמספר הטרנזיסטורים הפרוסים במעגל משולב יוכלו מדי שנתיים (חוק מור), מה שנחשב לאמת המידה להתפתחות של תעשיית האלקטרוניקה. האינטרנט שינה את הדינמיקה הזו. הצורך במידע והמושג של "להיות תמיד מחוברים" גרם לעידן חדש של תקשורת שנזקק לטכנולוגיות רוחב פס גבוהות יותר, אשר יסייעו להתאים את קצב ביצועי המעבד. הגורם שמפריע לצמיחה של התהליך הזה הוא קצב העברת הנתונים בין תהליכים למכשירים חיצוניים אחרים. סיבים אופטיים, כפתרון, מחליפים חוטים שמבוססים על נחושת שאינם מסוגלים לעמוד בדרישות המרחק ורוחב הפס הדרושים לתקשורת נתונים ברחבי העולם. זה הגדיל את היקף התקשורת האופטית ואת הפיתוח של מערכות אופטיות. זה בתורו גרם לשילוב גדול יותר של רכיבים אופטיים בהשוואה לשבבים, כך שהעברת נתונים יכולה להתרחש בקצב גבוה בין רכיבים שונים המחברים למעגל חשמלי. בתקופה שבין 2013 ל-2017, פוטוניקת הסיליקון חוותה התפתחויות מהותיות, אך בשל חוסר ברגולציה, הסיליקון אינו מגיע ליעילות הנדרשת. למרות שפותחו שיטות שונות לטיפול במצב זה, ביצועי המגבר או הלייזר במכשירים מבוססי סיליקון אינם מסוגלים להתחרות במכשירים אחרים המבוססים למשל על גליום ארסניד (GaAs) או אינדיום פוספיד (InP). הדבר הוביל למחקר ופיתוח משמעותי בתחום, כשהצפי הוא שעם הדיגיטציה של מעגלים פוטוניים, השוק יצמח בקצב מהיר ומכשירי IC משולבים אופטיים ישולבו במכשירים אלקטרוניים רבים, במיוחד למטרות הגברה, אפנון וסינון.

המחקר בפוטוניקת סיליקון החל בסוף שנות השמונים והפך מאז לאחד מתחומי המחקר המרכזיים. הטכנולוגיה משתמשת בלייזר בכדי להעביר נתונים באמצעות פולסים של אור. multiplexer משמש לשילוב כל פולסי האור הללו לאות בודד שניתן להעביר דרך סיב אופטי אל קולט סיליקון, שם demultiplexers משמשים לפענוח פולסי האור כדי להשיג את הנתונים המקוריים.

אחד האתגרים העיקריים העומדים בפני תחום פוטוניקת הסיליקון הוא העובדה שמכשירי הלייזר המייצרים את קרני האינפרא אדום (IR) הנושאים את הנתונים, צורכים כמות גדולה של כוח. המחקר הרב בתחום פוטוניקת הסיליקון הביא לשילוב חומרים שונים כדי לשפר את יכולת ההולכה של ה-IR של הסיליקון.

טבלה 17: מגמות מפתח במעגלים משולבים פוטוניים

Trend	Effect on Photonic Integrated Circuits
Demand for high speed data transmission with reduced cost of procurement and manufacturing	Negative effect on existing technologies such as copper interconnects and optical fiber, with greater emphasis on silicon photonics-based data transmission technologies
Reduced power consumption and higher efficiency of photonic integrated circuits	Increased use of PICs in solid stage light source such as LED lamps
Next generation system integration using silicon photonics	It is expected that in coming years, passive and active devices will be integrated hybrid and monolithic integration respectively on silicon interposers and will be linked by optical wave guides
Connectivity issue photonic integrated circuits	Negative impact on the demand for photonic integrated circuits where there is lack of technical expertise, due to complexity of the structures of PICs

מקור: עיבוד של צוות מוסד שמואל נאמן ל- Bcc Research

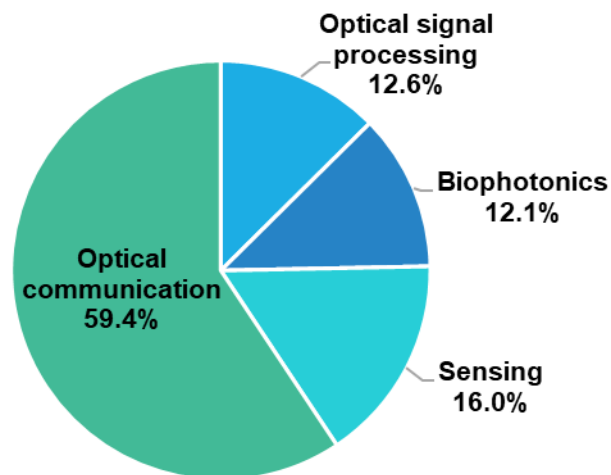
קצב תעבורת הנתונים חווה גידול דרמטי בעידן שבו משתמשי קצה צורכים אפליקציות, שירותים ותכנים וויזואליים ברשת. בדור החמישי של התקשורת, יישומי תקשורת מורכבים ומתקדמים, כמו מציאות מדומה, מציאות רבודה, ערים חכמות, רכבים אוטונומיים ו-5G, יגבירו משמעותית את צרכי תעבורת הנתונים. הגידול האקספוננציאלי בתעבורת הנתונים ברשתות התקשורת ילך ויתחזק ככל שיחלוף הזמן. בעתיד ייווצר צורך להזרמת נתונים ברוחב פס גבוה, שתאפשר למשתמשי הקצה לצפות בווידיאו באיכות גבוהה גם במכשיר הנייד,

להוריד קבצים במהירות, ולחבר התקני IoT רבים לרשת. הפתרון טמון בשימוש בתקשורת נתונים אופטית המבוססת על סיבים אופטיים שעשויים מסיליקה. הסיבים האופטיים אינם מתכלים ומאפשרים העברת מידע בקצבים גבוהים למרחקים ניכרים. כבר כיום התקשורת האופטית משמשת כתשתית לתעבורת נתונים, מספקות השרות ועד לצרכן הביתי במודל Fiber to Home. גם הסלולאר נתמך ע"י תקשורת אופטית. יצור שבבי סיליקון-פוטוניים עובר מהפכה הודות לשיפורים טכנולוגיים, שמאפשרים לייצר התקנים אלקטרוניים בסיליקון בגודל ננו, לשלב התקנים פוטוניים על גבי סיליקון, לממש אותם בפלטפורמות של System on the chip, המתאפיינת באינטגרציית רכיבים אלקטרוניים ופוטוניים, שמקטינות את עלויות הייצור ואת הסיבוכיות הנלווית. כלומר, אותה טכנולוגיה ששימשה לייצור רכיבים אלקטרוניים משמשת כיום לייצור רכיבים פוטוניים ומערכות אלקטרוניות ואופטיות משולבות.

טכנולוגיית סיליקון פוטוניקס מאפשרת לממש פונקציות מתמטיות מורכבות לעיבוד אותות באמצעות התקנים פוטוניים. תכונה זו היא שמאפשרת להוריד את מגבלת המהירות של רכיבים אלקטרוניים, ולצורך עיבוד אותות להשתמש במערכות אופטיות שמאפשרות עיבוד בקצב גבוה יותר תוך שהן מקטינות את זמן ההשהיה לעיבוד האותות, שנקבע על ידי גודל הרכיב ומהירות ההתפשטות של האות בהתקן. כמו כן, עקב הפסדי האור הקטנים בהתקנים הללו, מתבטל הצורך בקירור ההתקנים כמעט לחלוטין, דבר שיוביל לחסכון של עד 50% מצריכת האנרגיה של מערכת ממוצעת.

9.1.1 התפלגות השוק לפי יישומים

התפתחות תחום המעגלים המשולבים הפוטוניים (PIC) מתרחשת במידה רבה על בסיס היישום שלהם במגוון תחומים. היישומים העיקריים שבהם משתמשים במעגלים משולבים פוטוניים הם: ביו-פוטוניקה, חישה ויישומים נוספים שבהם PIC מתפקדים בצורה שונה.



מקור: עיבוד של צוות מוסד שמואל נאמן ל- Bcc Research

היישום הרב ביותר של מעגלים משולבים פוטוניים הוא בתחום התקשורת האופטית, והוא צפוי להמשיך ולהוביל את השוק. נתח השוק של יישומי סיליקון של מעגלים משולבים פוטוניים בתקשורת אופטית עומד כיום על 59.4%.

הירידה שחלה בעלויות המחקר והפיתוח וקיצור זמני הפיתוח הניעה את שוק היישומים של PIC ובעתיד צפוי שהמחיר של יישומים אלה ירד באופן משמעותי עם העליה בהקפי הייצור של ציפים אלה. צריכת חשמל מופחתת ויעילות גבוהה יותר צפויים גם הם להשפיע באופן חיובי על הביקוש לפוטוניקת סיליקון. ניתן להתגבר על סוגיות הקשורות למכשירי IC אלקטרוניים, באמצעות שימוש ב-PICs, היות שהם מציעים פחות פיזור ותורמים לצריכת

חשמל מופחתת. השימוש ב-PICs במקורות אור במצב מוצק, כמו במנורות LED, הראה ביצועים טובים כמעט כמו של כל המקורות האחרים מבחינת יעילות הספק. לשימוש ב-PICs במקורות אור במצב מוצק, יש פוטנציאל לחסוך כ- 50% מהאנרגיה, ואף יותר מכך, כאשר השימוש נעשה במערכות ניהול אור חכמות. לפיכך, יעילות ההספק הגבוהה המוצעת על ידי PICs צפויה להמשיך ולהניע את השוק בשנים הקרובות.

9.1.2 סיליקון פוטוניקס ליישומי תקשורת

בדור החמישי של התקשורת, יישומי תקשורת מורכבים ומתקדמים, כמו מציאות מדומה, מציאות רבודה, ערים חכמות, רכבים אוטונומיים ו-IOT, יגבירו משמעותית את צרכי תעבורת הנתונים. שירותי הדור הרביעי הקיימים היום דורשים קצב תעבורת נתונים של כ-100 מגה-ביט/שניה בממוצע, באיכות HD. לעומתם, שירותי התקשורת של הדור החמישי ידרשו הרבה יותר. לדוגמה טכנולוגיות חדשות של העברת וידאו ידרשו קצב תעבורה של 90 פריימים לשנייה ברזולוציה של 8 K דבר המצריך הרחבה של רוחב הפס הקיים בסדר גודל של פי 100 כבר בשנתיים הקרובות, על מנת לאפשר קצב תעבורה של 10 גיגה-ביט/שניה. דרישה הכרחית נוספת הינה זמן השהייה של פחות ממילי-שניה. לדרישה זו תהיה השפעה חזקה הן על הרכיבים והן על ארכיטקטורת המערכת בה הם כלולים, אשר כפועל יוצא צריכה לקצר מסלולי תעבורה ולאפשר הקטנה משמעותית של זמן התעבורה והתפשטות הנתונים והאותות במערכת.

מגמה זו מביאה להיווצרות של עומסים חסרי תקדים על רשתות התקשורת האלחוטית, וספקיות התקשורת נתקלות באתגר ההולך וגדל של תעבורה גבוהה על תשתית שמתפרסת למרחקים, תחת מגבלות של רוחב פס ברשת המבוססת בסופו של דבר על תקשורת קווית.

הפתרון טמון בשימוש בתקשורת נתונים אופטית המבוססת על סיבים אופטיים שעשויים מסיליקה. הסיבים האופטיים אינם מתכלים ומאפשרים העברת מידע בקצבים גבוהים למרחקים ניכרים. כבר היום ניתן לראות שהתקשורת האופטית חודרת לכל מקום כתשתית לתעבורת הנתונים, החל מספקיות השירות ועד לצרכן הביתי במודל FIBER TO HOME. גם הסלולר נתמך כיום על-ידי תקשורת אופטית וגם מתקני דאטה סנטר עושים בהם שימוש. הקישורים האופטיים ישמשו גם להעברת מידע בתוך השרת עצמו, על-גבי המעגל המודפס, ואף בתוך השבב.

יותר ויותר שימוש ב-PICs נעשה במערכות תקשורת אופטיות, בהן יש להעביר כמות גדולה של נתונים, במהירות גבוהה לאורך מרחק רב. פוטוניקה צפויה להיות הטכנולוגיה המאפשרת לכל טכנולוגיות הפס הרחב האלחוטיות והקוויות העתידיות. שילוב של PICs עם אלקטרוניקה בחבילה אחת (כמו FPGA) מסייע בהפחתת צריכת החשמל, בצפיפות, בעלויות ושיפור שיעורי העברת הנתונים, מבלי לשבש את רמת הביצועים.

יישום התקשורת האופטית בפוטוניקת מיקרוגל/RF החזיק בנתח השוק הגדול ביותר ב-2016 וצפוי להמשיך ולהוביל את השוק. מגזר הפוטוניקה של המיקרוגל/RF הוערך ב-99 מיליון דולר בשנת 2016 וצפוי להגיע ל-390 מיליון דולר עד שנת 2022, CAGR של 25.8% בשנים 2017-2022. PICs משמשים כמכשירים נפרדים ביישום זה וניתן להשתמש בהם במוצרים שונים השייכים לרוחבי פס שונים. בשל היתרונות הכלליים של PICs כמו גודל קטן, משקל נמוך וצריכת חשמל פחותה, הם מציעים יתרונות נוספים כמו רעש נמוך ויציבות גבוהה למספר יישומי מיקרוגל/RF. לדוגמה, במקרה של יישומים פוטוניים למיקרוגל, פונקציות אנלוגיות כמו OPLLs (optical-phase locked loops) מופעלות ומשופרות באמצעות טכנולוגיית PIC.

היישום של מעגלים משולבים פוטוניים באירופה החזיק בנתח השוק הגדול ביותר בשנת 2016, עם הכנסות של 102 מיליון דולר וצפוי להגיע ל-284 מיליון דולר עד 2022, CAGR של 18.8% משנת 2017 ועד 2022. עם זאת, אסיה-פסיפיק צפויה להיות המגזר הצומח במהירות ביותר ותוביל את השוק עד 2022. שוק אסיה-פסיפיק ליישום מעגלים משולבים פוטוניים בתקשורת אופטית באסיה-פסיפיק היה מוערך ב-48 מיליון דולר בשנת 2016 וצפוי להגיע ל-426 מיליון דולר עד 2022, CAGR של 41.2% משנת 2017 עד 2022. השוק העולמי עבור מעגלים משולבים פוטוניים ביישומי תקשורת אופטית הוערך בשנת 2017 בכ-320 מיליון דולר והוא צפוי להגיע ל-1 מיליארד דולר עד 2022, וצמח במחיר CAGR של 26.5%.

9.1.3 חישת Sensing

השימוש ב-PIC ליישומי חישת הוא שוק אטרקטיבי, שמציע רגישות גבוהה, תגובה מהירה, חסונות אלקטרומגנטית, קומפקטיות ואינטגרציה בעלות נמוכה עם מכשירים אלקטרוניים בתחום החישת האופטית. יתרונות אלה סייעו ל-PICs לספק מענה ליישומי החישת של תעשיות שונות, כולל רכב, בנייה, תעשיות, אווירונאוטיקה, חלל, רפואה וביוטכנולוגיה. שילוב הפונקציונליות שמציע PICs ומעגלים אלקטרוניים מאפשרים לחיישנים פוטוניים למדוד מגמות מרובות פרמטרים בו זמנית ובמדויק. בנוסף, תקנות ורגולציה ממשלתית צפויים להאיץ את ההתפתחות של חיישנים פוטוניים.

הנדסת מבנים היא פלח היישומים הגדול ביותר ליישום מעגלים משולבים פוטוניים בחישת. ההיקף הגדול והשילוב האפקטיבי של רכיבים אופטיים, העונים על הביקוש הגבוה הם שני הגורמים העיקריים המזינים את הביקוש בפלח יישומים זה. החיישנים המשמשים בהנדסת מבנה כוללים חיישני עיוות זוויתי, חיישני לחץ, חיישני טמפרטורה, חיישני התארכות וחיישני רטט. חיישנים משמשים לשליטה במגוון מפרטים וניתן לשפר אותם באמצעות רכיבים פוטוניים.

הובלה וחלל תעופה הוא המגזר הצומח במהירות הרבה ביותר. PICs מספקים פתרונות יעילים להתמודדות עם אתגרים קריטיים כמו חשיפה לטמפרטורה וחומרת הקרינה הקשורה לתעשיית התעופה והחלל. גירוסקופים עוזרים בזיהוי מיקום ומעקב אחר שינויים במהלך התנועה. מערכות פיקוח מפקחות על יעילות רכבים מבחינת מעגלים פנימיים שונים ברכב. המערכת מזהה את התקלה באמצעות מקלטים העשויים מרכיבים אופטיים.

היישום של חישת באנרגיה ושירותים, החל מ-LED יעיל שמוריד את צריכת האנרגיה, לפאנלים של אנרגיה סולארית, המגדילים את ייצור האנרגיה המקומית וחיישנים אופטיים המאפשרים לחברות נפט וגז להפיק משאבים חדשים בבטחה, ל-PICs יש פוטנציאל לעצב מחדש את צריכת האנרגיה העתידית, להיות יעילה, נקייה ובטוחה יותר. בשל הדינמיקה המשתנה והדרישות הגבוהות לדיוק, משתמשים במעגלים משולבים פוטוניים כדי למדוד חישת פוטו-וולטאית ורמה גבוהה של חישת חשמלית במהירות גבוהה יותר. היקף מוגבר זה עזר לשוק לצמוח.

השוק בצפון אמריקה ליישום מעגלים משולבים פוטוניים בחישת החזיק בנתח הגדול ביותר בשנת 2016 וצפוי להמשיך ולהוביל את השוק. שוק המעגלים המשולבים הפוטוניים ביישומי חישת בצפון אמריקה הוערך ב-26 מיליון דולר בשנת 2016 וצפוי להגיע ל-102 מיליון דולר עד 2022, CAGR של 25.3%. עם זאת, אסיה-פסיפיק היא השוק הצומח במהירות הרבה ביותר בשווי של 14 מיליון דולר בשנת 2016 וצפוי להגיע ל-90 מיליון דולר עד 2022, CAGR של 38% משנת 2017 עד 2022. השוק העולמי למעגלים משולבים פוטוניים ביישומי חישת הוערך בכ-86 מיליון דולר בשנת 2017 וצפוי להגיע ל-303 מיליון דולר עד 2022, CAGR של 28.6% משנת 2017 עד 2022.

9.1.4 ביו-פוטוניקה Biophotonics

ביו-פוטוניקה הוא מונח המתייחס לשילוב של ביולוגיה ופוטוניקה. ביו-פוטוניקה משמשת בהדמיה ואבחון, ומסייעת בחקר מולקולות ביולוגיות בתאים וברקמות.

השוק האירופי ליישום מעגלים משולבים פוטוניים בביו-פוטוניקה החזיק בנתח השוק הגדול ביותר בשנת 2016 וצפוי להמשיך ולהוביל את השוק. שוק זה הוערך ב-20 מיליון דולר בשנת 2016 וצפוי להגיע ל-72 מיליון דולר עד 2022, CAGR של 23.6% משנת 2017 ל-2022. עם זאת, אסיה פסיפיק הוא השוק הצומח במהירות ביותר המוערך ב-7 מיליון דולר ב-2016 וצפוי להגיע ל-72 מיליון דולר עד שנת 2022, CAGR של 51.6% משנת 2017 עד 2022. השוק העולמי ליישום מעגלים משולבים פוטוניים בביו-פוטוניקה הוערך ב-65 מיליון דולר בשנת 2017 וצפוי להגיע ל-227.2. מיליון דולר עד שנת 2022, CAGR של 28.4% משנת 2017 ועד 2022.

9.1.5 עיבוד אותות אופטי Optical Signal Processing

ביקוש מוגבר לרוחב פס גבוה ושיעורי העברת נתונים, הניע את הצורך ברשתות עיבוד אותות אופטיים. ברשתות כאלה האותות האופטיים המהירים אינם תלויים במודולציה ובפורמט הסיב והם מועברים מקצה לקצה ללא

המרה יקרה OEO (אופטי-חשמלי-אופטי). PICs משמשים להעברת אותות בזמן תגובה הרבה יותר קצר. זה בתורו, מגדיל את מהירות העברת הנתונים ללא או במינימום הפסדים, אפילו בקצה ה-plug-ins של התקני סיבים אופטיים. החלק העיקרי באבולוציה זו צפוי להיות פיתוח של מכשירי PIC המסוגלים לפעול במהירות של 40 ג'יגה-ביט לשנייה. לפיכך, הביקוש למכשירי עיבוד אותות אופטיים בעלי ביצועים גבוהים, מהירות גבוהה ויעילות גבוהה, צפוי לעלות משמעותית.

מטרולוגיה אופטית הינה המגזר הגדול ביותר בשוק ליישום מעגלים משולבים פוטוניים בעיבוד אותות אופטיים וצפוי להמשיך ולהוביל את השוק. מגזר המטרולוגיה האופטית הוערך ב-32 מיליון דולר בשנת 2016 וצפוי להגיע ל-117 מיליון דולר עד 2022, CAGR של 23.9% משנת 2017 עד 2022. עקב מדידת הנתונים המדויקת שלהם, או מדידת נתונים עם טעויות קלות, במהלך מדידת מרחק / תזוזה, ואורך גל וכיול PDL/PDM, קיים ביקוש גבוה ל-PICs. העברת נתונים ללא אחור בזמן, מספקת תוצאות כמעט מדויקות, שהינן יותר מדויקות מכל מעגל אלקטרוני.

מכשור אופטי הוא גם היישום העיקרי לעיבוד אותות אופטי בשווי 13 מיליון דולר בשנת 2016 וצפוי להגיע ל-37 מיליון דולר עד שנת 2022, CAGR של 16.8% משנת 2017 ועד 2022.

היישום של מעגלים משולבים פוטוניים בעיבוד אותות אופטיים באירופה החזיק בנתח השוק הגדול ביותר בשנת 2016. עם זאת, הוא צפוי לאבד את נתח השוק בגלל שיעורי צמיחה יציבים ושוק מבוסס. היישומים של מעגלים משולבים פוטוניים בעיבוד אותות אופטיים הוערכו ב-21 מיליון דולר בשנת 2016 וצפויים להגיע ל-67 מיליון דולר עד שנת 2022, CAGR של 21.8% משנת 2017 ועד 2022. השוק העולמי ליישום מעגלים משולבים פוטוניים בעיבוד אותות אופטיים מוערך בשווי של כ-68 מיליון דולר בשנת 2017 וצפוי להגיע ל-246 מיליון דולר עד שנת 2022, CAGR של 29.3%.

קיימים גם יישומים רבים אחרים שפוטוניקת הסיליקון יכולה לאפשר, שכוללים מחשבים בעלי ביצועים גבוהים, טלקומוניקציה, חיישנים, מדעי החיים, מחשבים קוונטיים ויישומים מתקדמים אחרים. שני יישומים מעניינים במיוחד שמתאפשרים בשל העובדה שפוטוניקת סיליקון יכולה לדחוף את שילוב הפונקציות האופטיות והמזעור עוד יותר כדי להשיג מוצרים כמו: חיישן לייזר שנקרא LIDAR (ראשי תיבות של Light Detection and Ranging) מסוגל למדוד את המרחק של הרכב מעצמים בסביבתו בדיוק של עד שני סנטימטר באמצעות הבזקי אור קצרים וחיישנים ביוכימיים וכימיים.

בתוך שוק של מערכות סיוע לנהג (ADAS) שצפוי להגיע ל-3,9 מיליארד דולר בשנת 2017, LIDAR מבוסס סיליקון פוטוני ישחק תפקיד מפתח. היישום השני הוא של קבוצת Photonic Microsystems של MIT שמבצעת פרויקט מוצלח של DARPA, תוך שימוש בפוטוניקה של סיליקון (on-a-chip with steerable transmitting and receiving phased arrays and on-chip Ge photodetectors).

חיישנים ביוכימיים וחיישני גז אינם חדשים, ויש להם כבר מספר יישומים. העניין בחישה הגז (Gas sensing) מקבל חשיבות בשל הופעתם של יישומים ניידים גדולים. שילוב חיישני ביוכימיה או גז בטלפונים חכמים או לבישים נמצא כרגע במפת הדרכים של חברות רבות, אך סוגיות של גודל, עלות ורגישות עדיין לא נפתרו. כדי להרחיק את המזעור של חיישן הגז האופטי, חברות מסוימות כבר שוקלות פוטוניקה של סיליקון כפלטפורמת אינטגרציה למכשירים שלהן. יישומי מרכזי נתונים אלה צפויים להגיע לכ-300 מיליון דולר בשנת 2025.

מרכזים מובילים בעולם בפוטוניקה אינטגרטיבית

שני המרכזים הגדולים בעולם בפוטוניקה אינטגרטיבית הם:

המכון האמריקאי לייצור רכיבים פוטוניים (AIM – American Institute for Manufacturing Integrated Photonics) שהינו איגוד ממשלתי-תעשייתי אמריקאי אשר מקים תשתיות ייצור והעברה טכנולוגית בתחום הפוטוניקה כדי להבטיח תשתיות ייצור PIC בארצות הברית (photonic integrated circuit). זה מרכז שהממשלה האמריקאית הקימה בהשקעה מאוד גדולה כדי לפתח את התחום הזה.

השני הוא **המכון לפוטוניקה משולבת (integrated photonics) באיינדהובן, הולנד**, אזור איינדהובן בהולנד נחשב למקום מספר 2 בעולם בתחום המיקרו-פוטוניקה. המכון לפוטוניקה משולבת פועל לצד הקונסורציום

האקדמי-תעשייתי **Photon Delta** כדי לקדם את התחום באזור. מרכז גדול נוסף לפוטוניקה אינטגרטיבית קיים ב-Fraunhofer בברלין.

9.2 תחום הפוטוניקה האינטגרטיבית בישראל

9.2.1 תעשייה

שוק הפוטוניקה של הסיליקון עדיין צנוע עם מעט מאוד חברות בעלות מוצרים בשוק. מלאנוקס, סיסקו, לוקסרה, אינטל, ST מיקרואלקטרוניקה, אקשיה ומולקס הם חלק מהחברות המובילות בתחום. אין כמעט חברות ישראליות שמפתחות בתחום. יש חברות אשר מזמינות פיתוח של רכיבים בחברות בחו"ל (הולנד, מכוני פראוהופר ועוד)¹⁸².

מלאנוקס

אלעד מנטוביץ ממלאנוקס הוא מומחה בתחום. **קבוצת מר** היא חברה ותיקה בשוק הישראלי, והיא מתמחה בפרויקטי ערים חכמות ותקשורת. קבוצת חוקרים של מר פיתחה התקנים חדשניים להעברת מידע בקצב גבוה על גבי סיליקון, במשך מספר שנים בתמיכה ומימון חלקיים של רשות החדשנות (המדען הראשי). ההתקנים מאפשרים העברת מידע בקצבים גבוהים וביעילות גבוהה המקטינה את צריכת הספק, טכנולוגיה ייחודית שמשמשת ברכיבים פוטוניים על מנת לממש פונקציות מתמטיות מסובכות. דבר המאפשר לשדר קבצי מידע של 400 גיגה-ביט/שניה על גבי אורך גל אחד, דבר המקטין את מספר מקורות האור (לייזרים) למערכת, ובהתאם לזה גם את צריכת ההספק. ההתקן החדשני נמצא כיום בשלב המסחור בשוק ומסוגל לספק מענה לצרכי העברת מידע למרחקים גדולים, דור חמישי בסלולר, תקשורת על גבי שבב וכל זאת על רקע הגידול העצום הצפוי בנפח וקצב העברת הנתונים על גבי רשתות התקשורת¹⁸³.

פרופ' יוסף בן עזרא מ HIT בחולון yossef.benezra@cellowireless.com

See Tree¹⁸⁴

החברה ממוקמת בתל אביב עם משרדים בקליפורניה ובברזיל, ומעסיקה 40 עובדים כולל מומחים עולמיים לבינה מלאכותית ואגרונומיה. SeeTree מציע לחקלאים שירות לניהול ואופטימיזציה של הבריאות והפרודוקטיביות של העצים שלהם.

Finisar Corporation - חברת Finisar Corporation (NASDAQ: FNSR) היא מובילת טכנולוגיה כלל-עולמית בתחום התקשורת האופטית, ומספקת רכיבים ותת-מערכות ליצרני ציוד רשתות, מפעילי מרכזי נתונים, ספקי שירותי טלקום ולחברות אלקטרוניקה לצרכנים וכלי-רכב. נוסדה בשנת 1988, חברת Finisar מתכנת מוצרים העונים על הדרישות ההולכות וגדלות עבור רחב-הפס של רשתות, אחסון נתונים ותת-מערכות חישה. המטה של חברת Finisar הוא ב-Sunnyvale, קליפורניה, ארה"ב, עם אתרי מו"פ וייצור ומשרדי מכירות ברחבי העולם. FINISAR ISRAEL LTD ממוקמת בחולון.

חברת סיון טכנולוגיות מתקדמות בע"מ

ד"ר אייל שקל בעל תואר ראשון באלקטרו-אופטיקה מהמרכז האקדמי לב בירושלים, דוקטורט בפיזיקה מאוניברסיטת ניו יורק. ד"ר שקל ייסד וניהל מספר חברות הי טק, ביניהם חברת Chiaro Networks Ltd בתחום תקשורת אופטית, חברת ננו-אור בתחום מדידות לתעשיית השבבים, וחברת Al Cielo Ltd בתחום ניווט אינרציאלי. כיום עומד ד"ר שקל בראש סיון טכנולוגיות מתקדמות בע"מ, שמתמחה בפיתוח וייצור לייזרים רבי הספק. ד"ר שקל הינו הממציא של 43 פטנטים.

¹⁸² המידע מבוסס על ראיון שנערך עם חיים רוסו

¹⁸³ <https://www.pc.co.il/kehila/284467/>

¹⁸⁴ עוסקת בתחום לפי ראיון עם חיים רוסו

9.2.2 איגוד תעשיות האופטרוניקה בישראל

הוקם ב-2017 במסגרת איגוד תעשיות החדשנות עתירות הטכנולוגיה בהתאחדות התעשייתיים. מקימי האיגוד מעריכים שהעתיד של תעשיית השבבים תלוי בהתפתחות תחום המיקרו-פוטוניקה. התפתחות זו תגרום לקפיצת מדרגה בכל תחומי הפוטוניקה. לכן חברות כמו אינטל משקיעות סכומי עתק בנושאים כמו סיליקון פוטוניקס וטכנולוגיות אופטיות. המיקרו-פוטוניקה תייצר סביבה תעשיות רבות של ציוד, מכשירי בדיקה ומדידה ועוד, כמו שעשתה תעשיית השבבים. לישראל יש כיום את כל המאפיינים הדרושים כדי להצליח בתחום המתפתח: תעשייה חזקה עם חברות עוגן גדולות, חברות סטארט-אפ ואקדמיה מתקדמת בתחומי האופטיקה.

איגוד תעשיות האופטרוניקה החדש התחיל את פעילותו ב-2018. חיים רוט מרכז את פעילות האיגוד החדש. המטרות שהציב לעצמו האיגוד כוללות: בניית קשרים עם גופי פוטוניקה מובילים בהולנד, ארה"ב וגרמניה, הרחבת הקשרים עם החברות הישראליות, והגדרת צורכי התעשייה בעשור הקרוב בשיתוף עם הטכניון.

הארגון נמצא בקשר עם המכון לפוטוניקה משולבת (integrated photonics) באינדהובן, הולנד, ונערך מפגש בין מנהליו לבין חברות אופטרוניקה ישראליות. אזור אינדהובן בהולנד נחשב למקום מספר 2 בעולם בתחום המיקרו-פוטוניקה. המכון לפוטוניקה משולבת פועל לצד הקונסורציום האקדמי-תעשייתי Photon Delta כדי לקדם את התחום באזור. ב-2018 נפגשו 10 חברות ישראליות עם האורחים מהולנד ובעקבות זאת סוכם על פרויקט משותף עם אחת מהחברות הישראליות. בנוסף, נערך מפגש של חברות פוטוניקה ישראליות עם המכון האמריקאי לרכיבים פוטוניים (AIM – American Institute for Manufacturing Integrated Photonics). זה איגוד ממשלתי-תעשייתי אמריקאי אשר מקים תשתיות ייצור והעברה טכנולוגית בתחום הפוטוניקה כדי להבטיח תשתיות ייצור PIC בארצות הברית (Photonic integrated circuit).

9.2.3 מרכז לאומי לפוטוניקה

המכרז להקמת מרכז תשתיות מו"פ לפוטוניקה מתקדמת פורסם על ידי הפורום לתשתיות לאומיות למחקר ולפיתוח (פורום תל"מ) באמצעות המנהל למחקר ופיתוח אמצעי לחימה ותשתיות טכנולוגיות (מפא"ת) במשרד הביטחון. ההתנעה של הקמת המרכז כתשתית לאומית החלה באוקטובר 2014 על ידי ממ"ג שורק בשיתוף עם אוניברסיטת בן גוריון, וזאת לאחר זכייתם במכרז להקמת המרכז הלאומי לפוטוניקה בהשקעה של מעל 180 מיליון ₪. במרכז מתבצעים מחקרים חדשניים, פיתוח של תהליכי ייצור ויישומים בתעשייה.

הרציול להקמת התשתית: 1. קיימת תשתית נרחבת בארץ בתעשייה ובאקדמיה בנושא פוטוניקה: 350 חברות, היקף פעילות של 5 מיליארד דולר לשנה. בנוסף, יש כוח אדם מיומן המתמחה בתחום הפוטוניקה, גם באקדמיה וגם בתעשייה. 2. אותר כי חסרה תשתית פיזית בתחום הפוטוניקה בארץ במספר נושאים כדי לקדם את העשייה לחזית העולמית.

9.2.4 צבא

מחלקת אופטרוניקה ביחידת המחקר והפיתוח (מפא"ת) אחראית לייזום ופיתוח טכנולוגיות, רכיבים, מדגימים ומערכות אלקטרו-אופטיות הנדרשים בטווח הרחוק לשימוש זרועות צה"ל ומערכות הביטחון. מחלקת אופטרוניקה עוסקת בפיתוח של טכנולוגיות ליבה בתחום האלקטרואופטיקה ופועלת לפתח מערכות מתקדמות יחד עם התעשיות הביטחוניות הגדולות, לצד פיתוח חדשני בחברות הזנק ובחברות קטנות. המחלקה עוסקת במחקר ופיתוח של מערכות מתקדמות, המסוגלות לאסוף מודיעין איכותי ביום ובלילה, בקרקע ובאוויר, באמצעות גילוי ואיכון אופטרוני מדייק ולזהות ירי המבוצע לעבר הכוחות בשטח, בפיתוח מערכות לייזר ליישומים רבים ומגוונים ובפיתוח מערכות להגנה על מטוסי נוסעים.

9.2.5 מאגדים של רשות החדשנות

פורסם קול קורא בנושא מאגד בתחום הפוטוניקה: פיתוח טכנולוגיות תכנון וייצור של לייזרים ורטיקלים-VCSEL

במסגרת הקול הקורא הקרוב של מסלול מאגדי מגנט, קבוצת יזמים בהובלת החברות מלנוקס, סיוון ואורבוטק, מתארגנת לקראת הגשת הצעה להקמת מאגד VCSEL בתחום הלייזרים הורטיקליים.

ויקסלים (VCSEL – Vertical cavity surface emitting laser) הינם לייזרים ורטיקלים הנפוצים במגוון טכנולוגיות, מתקשורת ועד לייזרים בהספק גבוה. היתרונות האינהרנטים של ויקסלים אלו הם במחיר הוייפרים, מחיר העיבוד, קלות הבדיקה הסופית והאפשרות למזער מערכות המשלבות אותם. כיום, הידע והייצור של ויקסלים באיכויות גבוהות, מצוי בידי מספר מצומצם מאוד של חברות בעולם. היזמים:

אלעד מנטוביץ, חברת מלאנוקס mentovich@mellanox.com

אייל שקל, חברת סיוון EShekel@civan.co.il

צבי קוטלר, חברת אורבוטק zvi.kotler@orbotech.com

מאגד ALTIA (ראשי תיבות של Advanced Laser Technologies for Industrial Applications)

הוקם ב-2016 כמיזם מחקר ופיתוח של הדור הבא של טכנולוגיות לייזר מתקדמות. למטרה זאת התאגדו יחדיו שש חברות מסחריות וקבוצות מחקר מובילות בתחום פיזיקת לייזרים ורכיבים פוטוניים מהמוסדות המחקריים הבאים: הטכניון, מכון ויצמן והאוניברסיטאות העברית, בר-אילן, בן גוריון ותל אביב. בנוסף שותפים במאגד מכון לב והמרכז הישראלי לפוטוניקה מתקדמת בשורק. מצד התעשייה שותפות במאגד שלוש חברות לייזרים מובילות – וי-ג'ן, סיוון ואל-אופ – ושלוש חברות מתחום הרכיבים: רייקול, שמייצרת גבישים אופטיים; הולו, שמייצרת אלמנטים אופטיים דיפרקטיביים מתקדמים, ואורבוטק, שמייצרת מערכות ופתרונות לתהליכי ייצור בתעשיית האלקטרוניקה והיא משתמשת הקצה של הלייזרים המפותחים במאגד.

ד"ר קובי לסרי, מנכ"ל וי-ג'ן (V-Gen), מונה להיות יו"ר המאגד. וי-ג'ן, שהוקמה ב-1998 וכיום היא חלק מחברת MKS Instruments Inc, מפתחת ומייצרת לייזרים מבוססי סיב אופטי ליישומים תעשייתיים וביטחוניים.

שיתוף פעולה עם הישגים מרשימים הביא לפיתוח טכנולוגיות אמינות ויעילות ליצירת פולסים קצרים בקבוצה של פרופ' גדי אייזנשטיין מהטכניון ופרופ' אבי פאר מאוניברסיטת בר-אילן ביחד עם וי-ג'ן וסיוון.

שיתוף פעולה נוסף של אלאופ וסיוון עם המרכז לפוטוניקה מתקדמת לפיתוח רכיבים ייחודיים יאפשר לחברות יכולת ייצור עצמית של כלל מרכיבי הלייזר.

מאגד PetaCloud הוקם ב-2015 והתמקד בפיתוח תשתיות טכנולוגיות לנתבים ומתגים אלקטרו-אופטיים שיהיו מסוגלים לספק זמני השהייה קצרים של מספר ננו-שניות.

המאגד יתמקד בפיתוח מערכות מיתוג וניתוב מהירות מאוד עבור מרכזי מידע, הכוללים את אבני הבניין הבאות: ארכיטקטורת רשת מרכז מידע, המשלבת רובדי מיתוג אופטיים ואלקטרוניים בטופולוגיות ייעודיות. טכנולוגיות מיתוג אופטי מהיר, עם קבועי זמן מיתוג של ננו-שניות. מקמ"ש אופטו-אלקטרוני התומך במיתוג מהיר. רכיבים אלקטרו-אופטיים, הדרושים לבניית מקלט/משדר בקצבים של מאות ג'יגה-ביט לשנייה, ואלגוריתמים דלי הספק, לעיבוד אותות, בקצבים אולטרא מהירים הייעודיים לתמיכה באותות תקשורת אופטית. במאגד השתתפו ד"ר שלוה בן עזרא מחברת פיניסר ופרופ' גדי אייזנשטיין מהטכניון.

בראיון עם אלעד מנטוביץ' ממלנוקס הוא סיפר כי הוא מקים מאגד בנושא לייזרים.

9.2.6 אקדמיה ומכוני מחקר

שבע אוניברסיטאות מובילות בישראל (אוניברסיטת בן גוריון, אוניברסיטת בר אילן, אוניברסיטת תל אביב, אוניברסיטת חיפה, האוניברסיטה העברית, מכון ויצמן והטכניון) מבצעות מחקר בתחום הפוטוניקה במחלקות השונות, במכון לננו פוטוניקה (במרכז BINA בבר אילן) ובמכון לב בירושלים. תחומי המחקר המובילים באקדמיה בישראל:

Integrated photonics, Quantum optics, Diffractive and phase optics, Hyperspectral imaging, Remote sensing, Opto-fluidic MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems), Optical materials

and fibers Microscopy, optical communication and cryptography, Opto genetics and biomedical optics

חוקרים מובילים:

פרופ' יוסף בן-עזרא, מדען ראשי בקבוצת מר המציעה פתרונות תקשורת ובטחון מקיפים. פרופ' בן עזרא מתמחה בתחום טכנולוגיית התקני העברת מידע בקצב גבוה על גבי שבבי סיליקון, ומשמש כדיקן הפקולטה להנדסה במכון הטכנולוגי חולון.

פרופ' גדי אייזנשטיין, טכניון.

פרופ' גדי אייזנשטיין זכה בפרס ההישג המדעי ע"ש ויליאם סטרייפר של האגודה לפוטוניקה של ה-IEEE-לשנת 2014.

בשנת 2011 זכה הטכניון בפרויקט תחרותי גדול בתחום הננו-פוטוניקה לצורכי גילוי וחישה. צוות המחקר שהוקם לצורך פרויקט זה כולל חוקרים מארבע פקולטות בטכניון וכן חוקרים ממכון ויצמן, מהאוניברסיטה העברית ומהאוניברסיטת תל אביב. החוקרים פועלים כקבוצה ממוקדת במטרה לפתח רכיבי חישה מתקדמים המבוססים על ננו-פוטוניקה לשימוש התעשייה הישראלית.

פרופ' אוריאל לוי מהאוניברסיטה העברית שמכהן גם כסמנכ"ל הטכנולוגיה בחברת TriEye.

המחקר שלו הוא בנושא: פיתוח שבבים המורכבים מסיבים אופטיים זעירים. הקושי הקיים הוא שכשמייצרים סיבים אופטיים, הם אינם מדויקים ברמה הדרושה. קיימים כיום שבבים אופטיים, אך בשל הקושי לייצר פילטרים מדויקים, השבבים הקיימים כיום קולטים רק תדרים מעטים, מרוחקים זה מזה. בכך הם מאבדים חלק מהיתרון של הסיב האופטי, שהוא העברת כמויות גדולות של מידע.

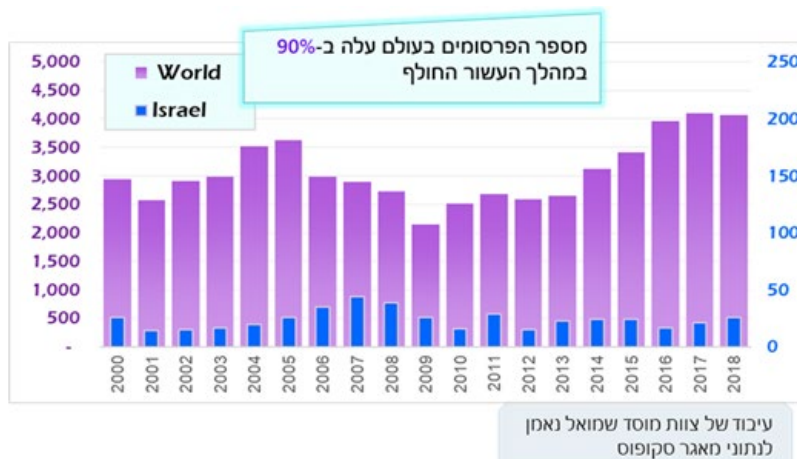
הפילטר הקלאסי הוא מעין טבעת עשויה מסיליקון שמושחלת סביב הסיב האופטי, אשר 'מזרימה' את האור אליה, בתדר מסוים. איך גורמים לכל פילטר להזרים צבע אור קצת אחר? פריצת הדרך של לוי וצוותו היא כזאת: "אנחנו מזריקים אלקטרונים לפילטר ומשנים את התפלגות האלקטרונים בסיליקון". הטכנולוגיה שבה משתמש לוי דומה לזו המשמשת בייצור זיכרון פלאש, אך השימוש בה הוא אחר לגמרי.

קבוצת המחקר שלו משלבת אנשים בעלי ידע באופטיקה, אלקטרוניקה וננוטכנולוגיה. פרופ' לוי עובד עם פרופ' אמריטוס יוסי שפיר, שמגיע מתחום המיקרואלקטרוניקה. שילוב שאיפשר לפתח רכיבים אופטיים שמכילים מיקרואלקטרוניקה.

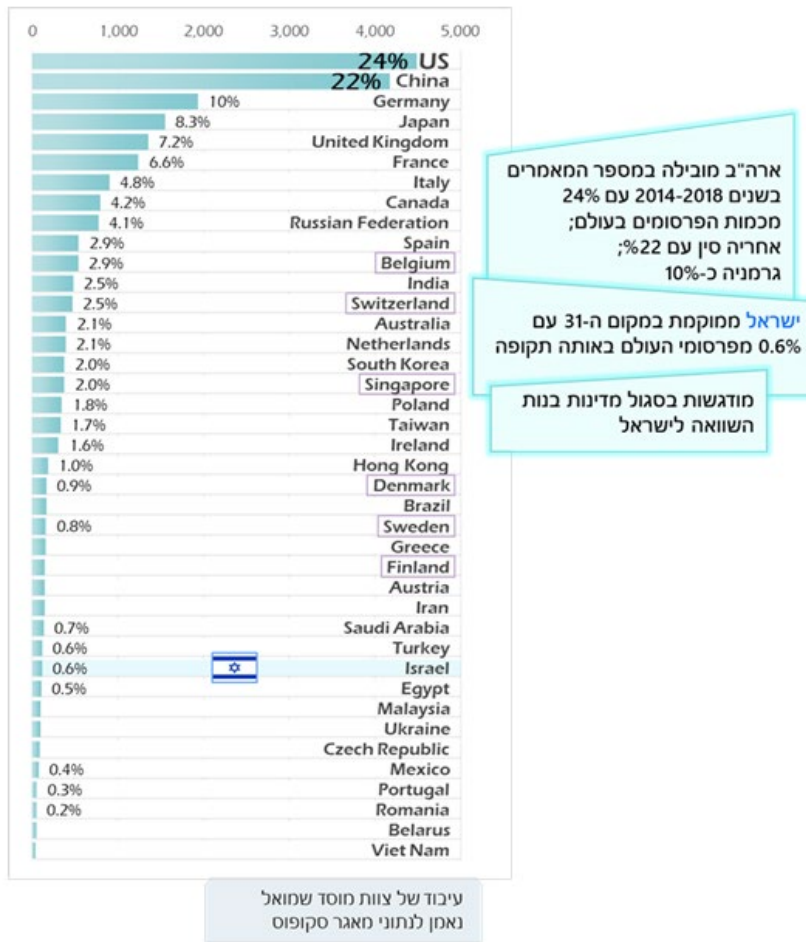
9.2.7 מדדים ביבליומטריים

מספר הפרסומים בתחום פוטוניקה אינטגרטיבית בעולם, עלה בעשור האחרון ב-90%. מספר הפרסומים הישראליים בתחום לא השתנה משמעותית במהלך העשור החולף.

איור 47: השינוי במספר הפרסומים בתחום פוטוניקה אינטגרטיבית בישראל יחסית לעולם, 2000-2018

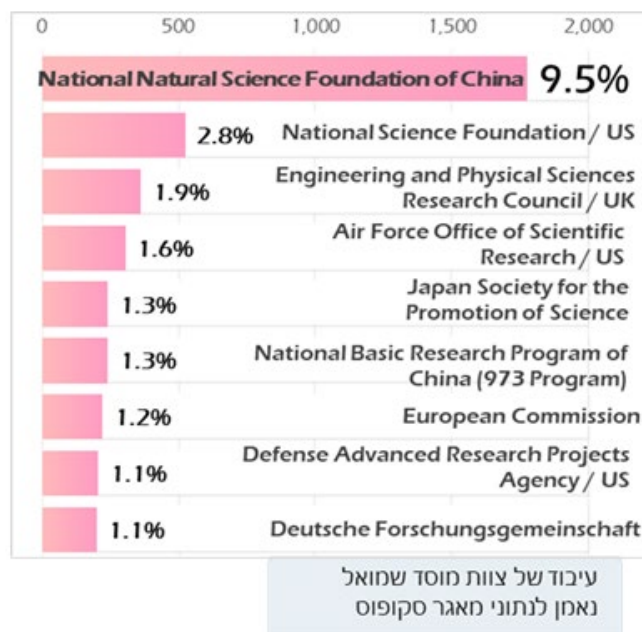


איור 48 : דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018



איור 49 : גופי המימון המובילים לפי מספר המאמרים שפורסמו בתחום פוטוניקה אינטגרטיבית

2014-2018



איור 50 : התפלגות המאמרים של חוקרים מישראל בתחום פוטוניקה אינטגרטיבית, לפי אוניברסיטאות 2014-2018



כרבע מהמאמרים שפורסמו על-ידי חוקרים מישראל בתחום פוטוניקה אינטגרטיבית, פורסמו ע"י חוקרי הטכניון.

9.2.8 מענקי מחקר

נסקרו הגופים העיקריים מהם מקבלים חוקרי ישראל מענקי מחקר. נסקרו כל מענקי המחקר המתוארים באתר הרלוונטי, בכל השנים עבורן יש נתונים¹⁸⁵. נמצאו 28 מענקי מחקר שהוענקו לחוקרים על מחקריהם בתחום.

להלן תמצית התוצאות (התוצאות במלואן מובאות בנספח).

טבלה 18: מענקי מחקר בתחום פוטוניקה אינטגרטיבית

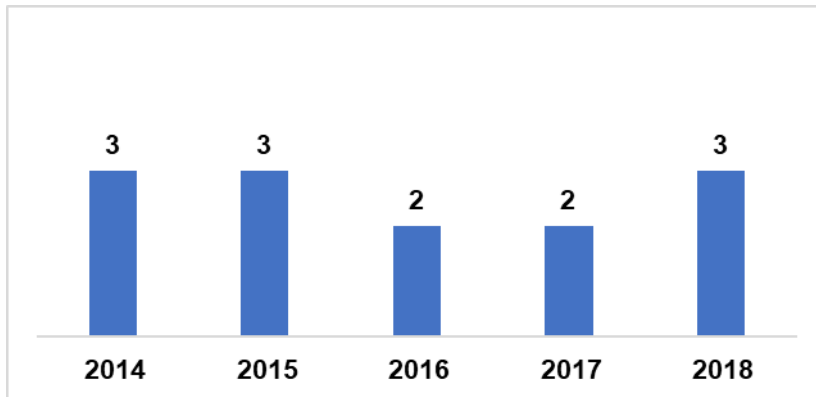
Foundation	For Years	No. of relevant Grants
ERC (European Research Council)	2007 - 2019	8
BARD (US-ISRAEL BINATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH AND DEVELOPMENT FUND)	2016 - 2019	0
GIF (The German- Israeli Foundation for Scientific Research and Development)	2011 - 2018	1
BIRD (Binational Industrial Research and Development) Foundation	1988 - 2019	8
ISF (Israel Science Foundation)	1991 - 2019	10
BSF (U.S.-Israel Binational Science Foundation)	1997 - 2019	1
Total		28

9.2.9 פטנטים

בין השנים 2014-2018 הוגשו ב-USPTO ע"י מגישים ישראלים 13 בקשות לפטנט בתחום פוטוניקה סיליקון. בתקופה זאת נרשמו ב-USPTO שבעה פטנטים של מגישים ישראלים. חברת מלנוקס הינה היישות המובילה בהגשת בקשות לפטנט ב-USPTO בקרב המגישים הישראלים עם שבע בקשות לפטנט בין השנים 2014 ל-2018. בתקופה החברות רפאל, PRIMESENSE LTD, ORIEL SILICONE PHOTONIC LTD, וכן מוסד הטכניון ושני מגישים פרטיים הגישו בקשה אחת לפטנט כל אחד.

¹⁸⁵ הסריקה נעשתה על ידי מילות החיפוש "silicon photonics" OR "Photonic Integration" OR "Photonic Integrated" OR "Integrated Photonics" OR "Photonic Integrations" OR "Semiconductor Lasers" OR "Silicon Photonic" OR "Integrated Nanophotonic") בחלק מהקורות לא מופיע תקציר המחקר ולכן לא ניתן לאמת את הרלוונטיות. ייתכן שיש עוד מענקים שלא נספרו כאן מסיבה זו (במיוחד מטעם ISF), או כאלה שנספרו אך אינם רלוונטיים (במיוחד BIRD).

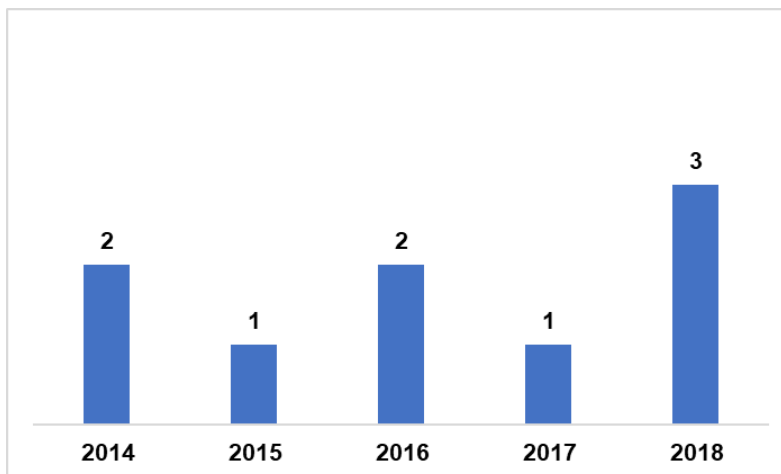
איור 51: מספר בקשות לפטנט ב-USPTO של מגישים ישראלים לפי שנת הגשת הבקשה



טבלה 19: מגישי בקשות לפטנט בתחום פוטוניקת סיליקון

MELLANOX TECHNOLOGIES LTD	7
BAR HANAN; HECK JOHN; FESHALI AVI; FELDESH RAN	1
PRIMESENSE LTD	1
RAFAEL ADVANCED DEFENSE SYSTEMS	1
SAADA YUVAL	1
TECHNION RES & DEV FOUNDATION	1
TERAMOUNT LTD	1

איור 52: מספר פטנטים רשומים ב-USPTO של מגישים ישראלים לפי שנת אישור הפטנט



9.3 היתרונות והחסמים של ישראל בתחום הפוטוניקה האינטגרטיבית

לדעתנו של חיים רוסו לישראל מספר יתרונות בתחום:

היתרון של ישראל בתחום האלקטרוניקה, היה ביכולת להפוך טכנולוגיה לאפליקציה. גם בתחום הפוטוניקה האינטגרטיבית, יהיו חברות ישראליות שיפיקו מוצרים על בסיס הרכיבים החדשים שיווצרו בעולם. היתרון של ישראל הוא לא בפיתוח הרכיבים המתקדמים, שיתבצע ע"י החברות הגדולות המובילות בעולם כמו אינטל וחברות אחרות, ישראל יכולה להיות מובילה ביישומים של הטכנולוגיה. לפתח בישראל מוצרים רפואיים ואחרים

על בסיס הטכנולוגיה שתפותח. פריצות דרך יכולות להיות, למשל ביישום רפואי שלא ניתן ליישם כיום במימדים גדולים. הטכנולוגיה יכולה לאפשר לעשות דברים במימדים הרבה יותר קטנים ויכולה להיות פריצת דרך.

הדבר השני, גם הוא באנלוגיה לעולם המיקרו-אלקטרוניקה. ישראל הצליחה להיות החברה המובילה ב-Inspection של קווי הייצור. רוב ציוד ה-inspection במפעלי הייצור של המיקרואלקטרוניקה הוא ישראלי. זה מתאים לישראל, מכונות גדולות, אופטיקה מסובכת, אלקטרוניקה מסובכת, הנדסת מערכת רצינית. כדאי לבדוק איפה בעולם הזה ישראל תוכל לתרום. האם זה בעולמות של ציוד טיסה או בעולמות אחרים. ברור לגמרי שמסביב לזר הגדול הזה של השקעות ברכיבים יצטרכו לבנות הרבה דברים.

ניתן לבחון עם החברות אם יש רצון להקים בארץ מרכזי פיתוח. יכול להיות שחברות כמו AMD, שמבינות שאם הן רוצות להישאר בשוק הן צריכות להשקיע בתחום ואין להם עדיין תשתית, ישקלו הצעה להקים את מרכז הפיתוח שלהם של רכיבים פוטונים בישראל וקבוצת המופ שלנו תפתח אותם. אין הרבה יכולות כאלה בעולם. התחום הזה בראשית דרכו בכל העולם. אין עדיין רכיבים בכמויות, אולי אבי טיפוס כאלה ואחרים.

לדעתנו של חיים רוסי, המהפכה שקרתה בעולם האלקטרוניקה תקרה בעולם הפוטוניקה וחבל אם ישראל לא תהיה שם. כמו במיקרואלקטרוניקה אנחנו לא 'השחקנים הגדולים' אבל הצלחנו למצוא נישות מעניינות, כך גם בתחום הפוטוניקה האינטגרטיבית צריך למצוא מה הן הנישות. חיים רוסי מציע לעשות חשיבה איפה היתרונות היחסיים של ישראל ומה הן החברות הרלבנטיות, שרוצות להיכנס לתחום.

לדעתנו של אלעד מנטוביץ' ממלנוקס:

אלעד חושב שיש לישראל יש הרבה מאוד ידע ייחודי בתחום הזה, שהוא בעל ערך עצום. יש הרבה סטרטאפים בתחום, הרבה אקדמיה שעושה אלקטרואופטיקה. יש ייחודית עצומה בתחום אלקטרואופטיקה קוואנטית, יש את קבוצות המחקר הכי טובות בעולם, אבל אין תשתיות. כדי לעשות את זה צריך פאב. יש לישראל את היכולת, אבל יש לעשות הרבה עבודה תשתיתית, למצוא גוף אחד שעושה את זה. היום תעשיית החומרה ישראלית מניחה שהחומרה בתחום היא לא בארץ. גם במלנוקס הולכים לפרויקטים של האיחוד האירופי, IMEC, ונוספים ואף אחד לא סופר את התעשייה הישראלית.

בעולם זה נעשה בכיוונים שאין ברשות החדשנות. אין פיילוט ליין. יש מגנט שזה מו"פ. זה קונספט שלא קיים היום במדינת ישראל, ואפשר לראות הרבה יותר מגנטים סביב נושאים ולא סביב טכנולוגיות שהולכות לכיוון מוצרים, וזה מה שיוצר Valley of death. זה מה שהאיחוד האירופי מנסה ליצור בתוך הורייזן. אנחנו טובים מאוד במחקר, אבל כשרוצים לעשות מזה מקומות עבודה, אז שם הבעיה. אלעד חושב שכל מה שקשור ל-Integrated צריך שיהיה פיילוט ליין ושיהיה בישראל משהו כמו IMEC או פראונהופר.

שתהיה תפיסת מדינה כמו שקיימת בפרויקטי מגנט, שאומרת אני משקיעה בעוד דרך, פיתוח סביב רעיון טכנולוגי חדשני או סביב קו שבו אני יכול לשלב בין התעשיות השונות.

ERC

Year	Researcher	Institute	Title	Budget
2015	Avinoam Zadok	BIU	Light and sound waves in silicon and nonlinear glass waveguides	1 496 944 €
2015	Ofer Firstenberg	Weizmann Inst	Quantum fluids of photons in optically induced structures	1 500 000 €
2018	Ulf LEONHARDT	Weizmann Inst	On-chip optical communication with transformation optics	150 000 €
2014	Uriel Levy	HUJI	Light-Vapour Interactions at the Nanoscale	1 998 863 €
2008	Mordechai Segev	Technion	Nonlinear Micro- and Nano-Photonics: nonlinear optics at the micrometer scale and below	2 100 000 €
2017	Mordechai Segev	Technion	Topological Insulator Laser	1 864 000 €
2012	Ulf Leonhardt	Weizmann Inst	Transformation optics: cloaking, perfect imaging and horizons	2 495 399 €
2013	Pablo Ernesto Joselevich Fingermann	Weizmann Inst	Guided Nanowires: From Growth Mechanism to Self-Integrating Nanosystems	2 063 872 €

BIRD (It provides conditional grants of up to 50% of a project's budget, up to 1 M \$)

<https://projectsdb.birdf.com/sectors>

2005	RED-C Optical Networks Ltd.	Company	Integrated EDFA-ROADM Subsystem	
2019	Israel Aerospace Industries (IAI)	Company	Precision Agriculture Decision Support System for Large Scale Areas Utilizing Wide Area Hyper-Spectral Imager and Fixed Wing Mobile UAV.	
2005	Gilat Satellite Networks Ltd.	Company	Mobile Satellite TV for Cars	
2002	GalayOr Networks	Company	ADI/GalayOr DVOA	
2004	Elbit Systems Ltd.	Company	Integrated Pipeline Access Security System (I-PASS)	
2002	TeraOp Ltd.	Company	IVOA – Integrated Variable Optical Attenuator	
2000	Opgal Optronic Ind. Ltd.	Company	Uncooled Camera for Fire-Fighters and Predictive Maintenance	
2006	Dune Semiconductor Ltd.	Company	Metro Packet Processor (Code Name: "Timna")	

¹⁸⁶ מתודולוגיה: נסקרו הגופים העיקריים מהם מקבלים חוקרי ישראל מענקי מחקר. נסקרו כל מענקי המחקר המתוארים באתר הרלוונטי, בכל השנים עבורן יש נתונים. הסריקה נעשתה על ידי מילות החיפוש "silicon photonics" OR "Photonic Integration" OR "Photonic Integrated" OR "Integrated Photonics" OR "Photonic Integrations" OR "Semiconductor Lasers" OR "Silicon Photonic" OR "Integrated Nanophotonic") בחלק מהקורות לא מופיע תקציר המחקר ולכן לא ניתן לאמת את הרלוונטיות. ייתכן שיש עוד מענקים שלא נספרו כאן מסיבה זו (במיוחד מטעם, ISF או כאלה שנספרו אך אינם רלוונטיים) במיוחד.

BSF (only Israeli researcher mentioned)

2012 - 2018				
2012	Levy Uriel	TAU	Advanced nanoscale silicon plasmonic active devices	\$157259

GIF

2014	Ginzburg Pavel	TAU	Quantum Photonics in Nano-structured Media	
------	----------------	-----	--	--

ISF

2006 - 2019				
2019	Ido Kaminer	Technion	Ultrashort-wavelength Light Sources Based on Smith-Purcell Nanophotonics	
2019	Ido Kaminer	Technion	Theoretical and experimental exploration of radiation manipulation by electron interaction with nanophotonic and 2D materials	
2019	Tal Schwartz	TAU	Tailoring transport in organic materials by strong coupling with light	
2019	Avinoam Zadok	BIU	Opto-mechanics of hybrid-silicon photonic devices	
2011	Guy Bartal	Technion	Focusing and imaging below the diffraction limit using low loss plasmonic metamaterials	
2018	Guy Bartal	Technion	Advanced Nonlinear Nanophotonics	
2016	Erez Hasman	Technion	Spin-controlled functional geometric phase metasurfaces	
2008	Uriel Levy	HUJI	Metamaterials in a 'free space optics on a chip' configuration as a novel platform for nanophotonic research	
2017	Uriel Levy	HUJI	Nanophotonics for enhancing multiphoton processes in chip scale atomic vapors	
2013	Uriel Levy	HUJI	Light matter interactions in vapor on a chip platform	

נספח ב: בקשות לפטנטים של ממצאים ישראלים

Inventor(s)	Applicant(s)	Title	Publication number	Publication date	Application number	appyea
BAR HANAN[IL]; HECK JOHN[US]; FESHALI	BAR HANAN; HECK JOHN; FESHALI AVI; FELDESH RAN	HYBRID INTEGRATION OF GROUP III-V SEMICONDUCTOR DEVICES ON SILICON	US2014307997 (A1)	2014	US201113976913	2011
NA YUN-CHUNG NEIL[US]; SAADA YUVAL[IL]; KANG YIMIN[US]	SAADA YUVAL	RE-ENTRANT MIRROR PHOTODETECTOR WITH WAVEGUIDE MODE FOCUSING	US2014217537 (A1); US9099581 (B2)	2014	US201113996528	2011
LEVY SHMUEL[IL]; BADIHI AVNER[IL]; ROCK	MELLANOX TECHNOLOGIES LTD	INTERCONNECTION BETWEEN SILICON PHOTONICS DEVICES AND OPTICAL FIBERS	US2015010267 (A1)	2015	US201313935511	2013
BADIHI AVNER[IL]; LEVY SHMUEL[IL]; ROCK	MELLANOX TECHNOLOGIES LTD	POLYMER-BASED INTERCONNECTION BETWEEN SILICON PHOTONICS DEVICES AND OPTICAL FIBERS	US2015010268 (A1)	2015	US201313935515	2013
SEGEV YEHONATAN[IL]; REGELMAN DAN VADIM[IL]	RAFAEL ADVANCED DEFENSE SYSTEMS	A NOVEL MODE DIVISION MULTIPLEXING OPTICAL LINK	US2015372782 (A1); US9525508 (B2)	2015	US201314761458	2013
LEVY SHMUEL[IL]; BADIHI AVNER[IL]; ROCK	MELLANOX TECHNOLOGIES LTD	INTERCONNECTION BETWEEN SILICON PHOTONICS DEVICES AND OPTICAL FIBERS	WO2015001429 (A1)	2015	WO20141860688	2014
PETRONIUS ISRAEL[IL]; MOR ZAFRIR[IL]; MARGALIT MORDEHAI[IL]; PESACH BENNY[IL]; SHPUNT ALEXANDER[IL]	PRIMESENSE LTD	INTEGRATED PHOTONICS MODULE FOR OPTICAL PROJECTION	US2014211084 (A1); US9091413 (B2)	2014	US201414231764	2014
GOLDIN SHMUEL[IL]	ORIEL SILICON PHOTONICS LTD	PHOTONIC CRYSTAL WAVEGUIDE	WO2016035063 (A1)	2016	WO20151150795	2015
NAZARATHY MOSHE[IL]; FISHER JONATHAN	TECHNION RES & DEV FOUNDATION	MULTI-DEGREE-OF-FREEDOM STABILIZATION OF LARGE-SCALE PHOTONIC INTEGRATED CIRCUITS	US2017192408 (A1)	2017	US201515314099	2015
BADIHI AVNER[IL]; ROCKMAN SYLVIE[IL]; MENTOVICH ELAD[IL]	MELLANOX TECHNOLOGIES LTD	SILICON PHOTONICS CONNECTOR	US2016252687 (A1); US9804348 (B2)	2016	US201615149134	2016
BADIHI AVNER[IL]; KAVDIEL YAARA[IL]	MELLANOX TECHNOLOGIES LTD	SILICON PHOTONICS CONNECTOR	US10146009 (B2); US2016370544 (A1)	2016	US201615250999	2016
MENTOVICH ELAD[IL]; KALIFA ITSHAK[IL]; ROCKMAN SYLVIE[IL]; BADEHI PIERRE AVNER[IL]; SANDOMIRSKY ANNA[IL]; LANDMAN EVELYN[IL]	MELLANOX TECHNOLOGIES LTD	PRINTED CIRCUIT BOARD ASSEMBLY WITH A PHOTONIC INTEGRATED CIRCUIT FOR AN ELECTRO-OPTICAL INTERFACE	US10012809 (B2); US2017363823 (A1)	2017	US201615187109	2016
POULOPOULOS GIANNIS[GR]; MENTOVICH	MELLANOX TECHNOLOGIES LTD	METHOD AND APPARATUS FOR OPTICAL COUPLING OF OPTICAL DEVICES	WO2018002675 (A1)	2018	WO2016GR00029	2016
BOURSTEIN IDO[IL]; ROCKMAN SYLVIE[IL]	MELLANOX TECHNOLOGIES LTD	Integrating Silicon Photonics and Laser Dies using Flip-Chip Technology	US10295740 (B2); US2018011248 (A1)	2018	US201715633799	2017
MENTOVICH ELAD[IL]; ROCKMAN SYLVIE[IL]; LEVY JACOB[US]; COHEN SHAI[IL]	MELLANOX TECHNOLOGIES LTD	OPTICAL TESTING OF FK MODULATORS FOR SILICON PHOTONICS APPLICATIONS	US10394060 (B2); US2018335653 (A1)	2018	US201715597835	2017
ISRAEL ABRAHAM[IL]; TAHA HESHAM[IL]	TERAMOUNT LTD	FIBER TO CHIP OPTICAL COUPLER	US10481334 (B2); US2018045891 (A1)	2018	US201715797792	2017

נספח ג: סיכום ראיון עם חיים רוט בנושא פוטוניקה אינטגרטיבית

חיים חושב שהתחום הולך לעשות מהפכה באותו סדר גודל שה-Integrated electronics עשה לפני 30 שנה.

פוטוניקה אינטגרטיבית - על ציפים של אלקטרוניקה מרכיבים גם רכיבים אופטיים. על ציפי אלקטרוני לא יהיה רק אלקטרוניקה כמו היום, טרנזיסטורים, מעבדים כל הדברים האלה. יהיו עליו גם סיבים אופטיים, גם רכיבים פאסיביים וגם רכיבים אקטיביים. מדובר על סיליקון פוטוניק, שזה הכל נמצא על אותו סיליקון של הציפים, ואז זה בעיקר לרכיבים אופטיים פאסיביים. אם מדברים על רכיבים אקטיביים, כדוגמת לייזרים שיושבים בתוך בציפי, זה נקרא- integrated electronics ופה החומרים זה לא רק סיליקון אלא גם חומרים אחרים.

כל ההשקעה מושקעת כדי להוביל את המיקרו-אלקטרוניקה צעד אחד קדימה, חוק מור של המיקרו-אלקטרוניקה אומר שהאלקטרוניקה תמוזער עוד ועוד ועוד. בשלב מסוים היתה הערכה שהיגענו לקצה. אי אפשר יותר לצופף מכל מיני סיבות, ועכשיו התחיל הדור שנקרא More Moore ע"י הכנסת רכיבים אופטיים, וזה אמור להמשיך את המהפכה של המיקרו-אלקטרוניקה. החברה שמשקיעה הכי הרבה בתחום הזה היא חברת אינטל- לא כי מעניין אותה פוטוניקה אלא כדי להאריך את חיי ויכולות הרכיבים, מעבר למה שהאלקטרוניקה יודעת. זה אומר הרבה לתעשיית הפוטוניקה, כי אם היו צריכים לחכות שישקיעו השקעות עתק לטובת יישומי תקשורת, אבחון רפואי ומחשוב, אני לא בטוח שמישהו היה משקיע את ההשקעות האלה, שהן השקעות מאוד גבוהות שנדרשות, אבל היות שהעולם של האלקטרוניקה הוא עולם שיכול להשקיע בלי סוף, הוא משקיע ומי שיהנה מזה הם כל אלה שיקנו את הרכיבים הפוטוניים וייצרו פוטוניקה מיניטורית, יעשו מיניטוריציה כמו שעשו לאלקטרוניקה ואפשר יהיה להכניס את זה לכל מיני מוצרים. הדחיפה לפיתוח הטכנולוגיה מגיעה מעולמות האלקטרוניקה, אבל מי שיהנה מזה מאוד, זה כל עולם האלקטרו-אופטיקה שיהפוך להיות עולם ממוזער. תהיה שם אותה מהפכה שקרתה לאלקטרוניקה.

איפה מפתחים את הדברים האלה כיום?

בהרבה מאוד אוניברסיטאות, כולל באוניברסיטאות בארץ, בטכניון- פרופ' גדי אייזנשטיין. יש בכל האוניברסיטאות פעילות מהסוג הזה.

תעשיות ישראליות שמתעסקות בזה:

התעשייה הכי מתקדמת והכי רצינית, זו מלנוקס. מעניינים אותם רכיבי התקשורת בשביל data center. הם מבינים שהם צריכים את הרכיבים האלה, שיאפשרו להם לעשות את מה שצריך, ויש שם כל מיני חברות קטנות, יותר סטרטאפים שנכנסו לעניין.

שני המרכזים הכי גדולים בעולם שנכנסו לתחום ואנחנו קשורים אליהם די טוב: אחד בארה"ב, המכון האמריקאי לייצור רכיבים פוטוניים (AIM – American Institute for Manufacturing Integrated Photonics) הוא איגוד ממשלתי-תעשייתי אמריקאי אשר מקים תשתיות ייצור והעברה טכנולוגית בתחום הפוטוניקה כדי להבטיח תשתיות ייצור PIC בארצות הברית (photonic integrated circuit). זה מרכז שהממשלה האמריקאית הקימה בהשקעה מאוד גדולה כדי לפתח את התחום הזה.

השני הוא המכון לפוטוניקה משולבת (integrated photonics) באיינדהובן, הולנד, אזור איינדהובן בהולנד נחשב למקום מספר 2 בעולם בתחום המיקרו-פוטוניקה. המכון לפוטוניקה משולבת פועל לצד הקונסורציום האקדמי-תעשייתי Photon Delta כדי לקדם את התחום באזור.

מה הערך המוסף של ישראל בתחום?

ההשקעות הן השקעות עתק של חברות. זה כמו לשאול מה הערך המוסף של ישראל לעולם האלקטרוניקה? מי שמפתח מיקרואלקטרוניקה אלה חברות גדולות. ההצלחה הגדולה של האלקטרוניקה הישראלית, זה שאנחנו יודעים מהר מאוד לזהות כשאינטל מוציאה מעבד חדש, אז הישראלים יודעים מהר מאוד להפוך את זה לאפליקציה. לדעתנו של חיים יהיו חברות ישראליות שיפיקו מוצרים על בסיס הרכיבים החדשים שייצרו בעולם. אנחנו לא נפתח רכיבים מתקדמים. זה יתבצע ע"י החברות הגדולות המובילות אינטל ואחרים. אנחנו נהיה מיישמים ראשונים, ונוכל לייצר פה מוצרים רפואיים, כל מיני מוצרים על בסיס הטכנולוגיה הזו שתפותח. הדבר השני, גם הוא באנלוגיה לעולם המיקרו-אלקטרוניקה. איפה ישראל נכנסה לעולם המיקרואלקטרוניקה? היא לא

יודעת לפתח רכיבים, אבל אם נסתכל על חברות כמו KLA ואפלייד מטיריילס, הצלחנו להיות החברה המובילה ב-Inspection של קווי הייצור, זה מתאים לנו, מכונות גדולות, מיליון דולר- 2 מיליון דולר, אופטיקה מסובכת, אלקטרוניקה מסובכת, הנדסת מערכת רצינית, זה התאים לישראלים. לקחת ולבנות את המכונות. רוב ציוד הא-inspection במפעלי הייצור של המיקרואלקטרוניקה הוא ישראלי. חיים מציע להתחיל לבדוק איפה בעולם הזה ישראל תוכל לתרום. האם זה בעולמות של ציוד טיסה כמו ציוד של אפלייד מטיריאלס או בעולמות אחרים. ברור לגמרי שמסביב לזר הגדול הזה של השקעות ברכיבים יצטרפו לבנות הרבה דברים שמסביב לזה.

יש בישראל גם מהנדסים שמפתחים רכיבים. חיים לא בטוח שאינטל יזהו בישראל את המרכז לתחום הזה. חיים לא פוסל את זה ואומר שצריך לבחון עם החברות אולי ירצו להקים בארץ מרכזי פיתוח. אולי חברות נוספות ולא רק אינטל. לאינטל יש אנשים שיוזעים לפתח את הרכיבים. אני לא יודע אם יבואו אלינו. גם חברות אחרות, מתחרים של אינטל, כמו AMD, הם מבינים שאם הם רוצים להישאר בשוק הם צריכים להשקיע בתחום הזה. יכול להיות שאין להם עדיין תשתית ואם היינו באים אליהם ואומרים להם בואו תקימו את מרכז הפיתוח של הרכיבים הפוטונים בישראל וקבוצת המופ שלנו תפתח, יכול להיות שזה היה מעניין אותם כי אין להם עדיין את זה. אין הרבה יכולות כאלה בעולם בכלל. אנחנו לא נהיה יצרן של הרכיבים האלה. אולי גם אינטל תרצה מרכז מופ לנושא בארץ.

בארץ אין יותר מידי חברות שעוסקות ב-Integrated photonics, כדאי לדבר עם ד"ר אלעד מנטוביץ', ראש ענף פיתוח טכנולוגיות סיליקון חדשות בחברת מלאנוקס. הוא מספר 1 בארץ בלדעת מה קורה בעולם בתחום. יש לו גם פעילות בכמה חברות.

יש חברה קטנה של קבוצת מר, פרופ' בן עזרא עומד בראשה. דיקן הנדסה במכללת חולון.

יש עוד איזה 3-4 חברות. חברה בשם SeeTree.

פראונהופר בברלין ובעוד מקומות פעילים.

התחום הזה בראשית דרכו בכל העולם. אין עדיין רכיבים בכמויות, אולי אבי טיפוס כאלה ואחרים.

יש פורום בינלאומי שעושה roadmap לכל נושא המירו פוטוניקה בעולם וחברים שם גם ההולנדים. כל 3 חודשים הם נפגשים ומבצעים הערכות.

חוקרים באקדמיה:

פרופ' גדי אייזנשטיין מהטכניון

פרופ' אוריאל לוי מהאוניברסיטה העברית שמכהן גם כסמנכ"ל הטכנולוגיה בחברת TriEye.

מרכז פוטוניקה בשורק- המרכז רלבנטי לתחום. התשתית שהקימו יכולה להיות רלבנטית לתחום. אנשים במרכז גם אמורים לדעת ולהכיר את התחום. רפי לביא. המרכז יכול להיות בסיס לישראל להיכנס לתחום.

יש עניין גדול מאוד של ההולנדים. ראש הקבוצה פרופ' תום וקס, מגיע לארץ פעמיים בשנה, כל הזמן מנסה לשכנע אותנו שישראל צריכה להיכנס לתחום הזה. הוא מרכז את כל פעילות התחום פוטון דלתא.

הארופאים-ההולנדים עוסקים בעיקר ב-Integrated photonics. הם מכניסים חומרים על הסיליקון.

האמריקאים יותר מתמקדים בסיליקון פוטוניק רכיבים פאסיביים. זה לא לייזרים. זה יכול להיות סיבים אופטיים, זה השלב היותר פשוט.

הפוטוניקה האינטגרטיבית לא יוצרת הבדל גדול באפליקציות. כל ההבדל הוא אם הכל יהיה על צ'יפ אחד. גם היום היה אפשר לקחת את הרכיבים ולשים אותם מבחוץ מסביב. כל הרעיון פה בראיה של חברות האופטיקה שהכל יוכל לשבת על צ'יפ אחד. לא רק האלקטרוניקה, זה מאפשר לעשות הרבה דברים. זה מאפשר לעשות את האלקטרוניקה יותר מהירה וצורכת פחות הספק.

הבעיה הגדולה של עולם האלקטרוניקה היום זה ה-data servers שמחזיקים את כל האינפורמציה. המרכזים האלה הם צרכני הספק אדירים. השרתים האלה צורכים 3% מכל תצרוכת האנרגיה של ארה"ב. הם מתחילים

להיות מוגבלים בהספק שנוצר שם ואחד הרעיונות, זה מה שמלנוקס עושה. מלנוקס בונה רכיבים לתוך החוות האלה. זה להשתמש בסיב אופטי. סיב אופטי לא צורך הספק כמו מוליך. אם משתמשים בסיב במקום במוליך חשמלי, אפשר לעשות אותו דבר במהירות יותר גבוהה ועם פחות צריכה. זה ביישומים של האלקטרוניקה. בהקשרים של הפוטוניקה, אנחנו רק נהנים מההשקעה ומזה שבסוף יהיו לנו רכיבים אינטגרטיביים, ואז נוכל לעשות יישומים.

אם יש פה פריצת דרך, זה אם יש יישום רפואי למשל שלא ניתן ליישם אותו היום במימדים גדולים. כמו הגלולה של Given imaging. הרי לא היתה בעיה לבנות מצלמות בעבר. המזעור הצליח לבנות אפליקציה. הרכיבים האלה לא עושים דברים שלא ניתן לעשות כיום. זה לא יהיה צ'יפ של אינץ' על אינץ' אלא קופסא של 10 ס"מ על 10 ס"מ. ניתן לעשות דברים במימדים הרבה יותר קטנים. אם יש אפליקציה שהמימדים קריטיים למשל, רוצים להכניס לגוף, אז זה עושה פריצת דרך. יותר קטן, יותר יפה, פחות הספק, יותר זול וכדו'.

גם אלקטרוניקה היתה קיימת לפני המיקרואלקטרוניקה וזה נכון שלא ניתן היה לעשות סמרטפון עם אלקטרוניקה לא ממוזערת. המיזעור יצר את הטכנולוגיה של הסמרטפון. אותו דבר יקרה כאן, הטכנולוגיה תביא לדברים שקודם אפשר היה לעשות אותם אבל במימדים יותר גדולים.

המהפכה שקרתה בעולם האלקטרוניקה תקרה בעולם הפוטוניקה וחבל אם ישראל לא תהיה שם. צריך להבין כמו במיקרואלקטרוניקה אנחנו לא שחקנים גדולים אבל כן הצלחנו למצוא נישות מעניינות אז גם פה צריך למצוא מה הן הנישות. 10 אנשים יחד עם רשות החדשנות צריכים לעשות חשיבה איפה היתרונות היחסיים של ישראל, לראות מי החברות הרלבנטיות, אין הרבה כאלה 5-6 חברות אלקטרוניקה, שרוצות להיכנס לתחום ואין להם היום יכולות. להגיד בואו נהיה הבית האלקטרו אופטי שלכם.

רשות החדשנות רוצים להתניע מגנט בתחום.

נספח ד: סיכום ראיון עם ד"ר אלעד מנטוביץ' ממלונקס בנושא פוטוניקה אינטגרטיבית

אלעד סיים דוקטורט בפיסיקה כימית באוניברסיטת תל אביב לפני 7 שנים. הדוקטורט שלו באלקטרוניקה מולקולרית ואופטיקה. יש לו תואר ראשון בהנדסת חומרים וכימיה בטכניון. הוא ראש קבוצת טכנולוגיות מתקדמות בצד הפיסיקלי במלונקס. בקבוצה שלו רוב שיתופי הפעולה נעשים בתחום של פוטוניקה אינטגרטיבית. יש לקבוצה שלהם כ-20-19 פרויקטים של הורייזן ושל המדען. יש להם את שלושת המעבדות הכי טובות של דטה קום של תקשורת מהירה בתדר גבוה.

הרבה מהפרויקטים של האיחוד האירופי, במיוחד בפלטפורמה של הורייזן 2020, יסתכלו על טכנולוגיה מסוימת גם בשביל דטה קום וגם לסנסינג, שזה התחום השני שצומח בתוך Integrated optics. הרבה מהידע שמצטבר הוא בכמה כיוונים, לא רק את מה שמשרת את התעשייה שלו אלא ישירות גם תעשיות אחרות, ולהפך, העובדה שיש ל Apple בתוך כל טלפון 500 פיקסלים כדי שתפתח את הטלפון תוך כדי שעושים לך Face recognition היא גם בעלת ערך.

אלעד יוזם ברשות החדשנות מאגד חדש בתחום לייזרים. הוא חושב שישיראל יש הרבה מאוד ידע ייחודי בתחום הזה, שהוא בעל ערך עצום. יש הרבה סטרטאפים בתחום, הרבה אקדמיה שעושה אלקטרואופטיקה. יש ייחודית עצומה בתחום אלקטרואופטיקה קוואנטית, יש את קבוצות המחקר הכי טובות בעולם, אבל אין תשתיות. כדי לעשות את זה צריך פאב. ל-TowerJazz יש שני פאבים: Jazz Semiconductor בארה"ב ו-Tower Semiconductor במגדל העמק. ג'ז נחשבים מתקדמים פי 3 מטאואר, וזו חברה ישראלית. הסיבה שבארה"ב הרבה יותר קל למצוא תשתיות או חברות ששמות הרבה כסף כדי שזה יקרה. זו בעיה לא טכנולוגית אלא בעיה תקציבית. תפיסה של איפה אתה שם את התשתית לטווח הארוך. לתפיסתו של אלעד, אם יש חברות שגדלו בתוך התעשייה הבטחונית, SCD בתוך רפאל, המרכז לפוטוניקה, טאואר. לכאורה, אם היה גוף אחד שמצליח למסד את זה, אז טאואר היתה מסתכלת על הנישה האלקטרואופטית בתוך עוד נישה שלה, כי בכובע של הפאבים היא לא יכולה להתחרות בחברות כמו אינטל.

פוטוניקה זה פאבים של 90 ננומטר. הכי מתקדמים מגיעים ל-95 אבל 90 מספיק. יש לישראל את היכולת, אבל היא תכלול הרבה עבודה תשתיתית, למצוא גוף אחד שעושה את זה. רואים את הפער בין טכנולוגיות הצבאיות לטכנולוגיות האזרחיות. המרחק בין SCD לטאואר לא כזה גדול, עדיין כמות הפרויקטים האזרחיים שלהם ביחד לא גדולה.

לדוגמה בתחום לייזרים. נורים חברה גדולה ישראלית. אומרת בואו נעשה בטאואר. את כל הקומפוננטות אני יכולה למצוא בישראל. אבל זה עבודה שלה לדבר עם טאואר, לשכנע את SCD שהיא חצי בטחונית לעשות עבודה אזרחית. הפוטנציאל העסקי שלה יותר גודל משל חברות בטחוניות שעושות את זה כ-default. זו דוגמה אחת. יש בשימושים האזרחיים של פוטוניקה אינטגרטיבית הרבה מאוד דברים שצומחים. היום תעשיית החומרה הישראלית מניחה שהחומרה בתחום היא לא בארץ. גם במלונקס הולכים לפרויקטים של האיחוד האירופי, IMEC, ונוספים ואף אחד לא סופר את התעשייה הישראלית.

בעולם זה נעשה בכיוונים שאין ברשות החדשנות. אין פיילוט ליין. יש מגנט שזה מו"פ. סטרטאפ שרוצה שישתתפו איתו בסיכון כדי שיהיה לו פיילוט. שהמדינה תיקח על עצמה את הפרוטוטיפ הראשון שהוא בעל ערך לחברה, וזה קונספט שלא קיים היום במדינת ישראל, ואפשר לראות הרבה יותר מגנטים סביב נושאים ולא סביב טכנולוגיות שהולכות לכיוון מוצרים, וזה מה שיוצר Valley of death. זה מה שהאיחוד האירופי מנסה ליצור בתוך הורייזן. אנחנו טובים מאוד במחקר, אבל כשרוצים לעשות מזה מקומות עבודה, כך האיחוד האירופי מדבר, אז שם הבעיה. אלעד חושב שכל מה שקשור ל-Integrated צריך שיהיה פיילוט ליין ושיהיה בישראל משהו כמו IMEC או פראונהופר.

מרכז הפוטוניקה אחראי רק על חלק אחד, אבל מי שרוצה Integrated לא ניתן. הסיכוי שאדם אחד יצליח לעשות את הקשרים בתוך פרויקט ל-Integrated קלוש. שתהיה תפיסת מדינה שכמו שקיימת בפרויקטי מגנט, שאומרת אני משקיעה בעוד דרך פיתוח סביב רעיון טכנולוגי חדשני או סביב קו שבו אני יכול לשלב בין התעשיות השונות. זו הדרך שגם אירופה מחברת בין חברות הייטק לחכות low tech.

אלעד חושב שכל מי שאי פעם יצטרך לגעת ב-Integrated photonics אומר שהוא צריך כמה חברות בסקאלה תעשייתית כדי שיהיה לו פרוטוטיפ, וזה האתגר שלו.

ב-IMEC יש הרבה מאוד Frame agreements שמגינים על IP.

יש פה מרכזים טכנולוגיים. במטרולוגיה יש נתח שוק מכובד. החברות האלה מדברות עם טאואר בתור ספקית שרות ולא לצורך האופטיקה. כלומר זה יחזור על עצמו הסיפור שהם נותנים את הכלים שמשתמשים באופטיקה לאפיון אבל הם לא עושים את ה-Integrated optics שלהם עצמם בארץ. יש למלנוקס מגנטים עם טאואר שנוגעים בטכנולוגיות. טאואר היא גוף שמייצר דברים ומייצא הם לא עושים אצלם את זה, כי עליהם לעשות השקעה מסיבית בצידוד ותשתיות והשאלה מי שם את הכסף.

10 הדפסה תלת-ממדית של חומרים מתקדמים, טכנולוגיות ויישומים

תודתנו לד"ר יפתח ניר על הערותיו ועל עזרתו במיקוד הסקירה.

10.1 רקע

הדפסת תלת מימד 3D Printing, המכונה גם Additive manufacturing, היא תהליך יצירת מוצק תלת ממדי מדגם דיגיטלי, על ידי הנחת שכבות חומר רציפות, בצורות שונות. מדפסת התלת-מימד הראשונה פותחה בשנות השמונים, אך העלות הגבוהה וטווח היישום המצומצם של המדפסות הראשונות, מנעו את השימוש הנרחב בהן. הטמעה של טכנולוגיות חדשות להדפסת תלת מימד, כמו מדפסת הזרקת דיו בתלת מימד, תרמו להורדת העלויות. מחקר של BCC¹⁸⁷ העריך את השוק העולמי הכולל חומרי הדפסת תלת מימד בכ- 697 מיליון דולר בשנת 2017, כשהצפי הוא שתון זה יעלה לכ-2.4 מיליארד דולר בשנת 2023, בהתבסס על קצב צמיחה שנתי (CAGR) של 22.8% בחמש השנים הבאות.

חומרים משחקים תפקיד משמעותי מאוד ב-AM במיוחד מכיוון שהדרך שבה מטפלים בחומרים ב-AM, שונה מאוד מהאופן שבו בייצור המקובל מטפלים בחומרים. מכונות וטכנולוגיות AM ספציפיות קשורות לסוגים, צורות ומצבים מסוימים של חומרים. לדוגמה, המכונה והטכניקה של AM לייצור רכיב מסגסוגת טיטניום ליישום רפואי עשויה לא להתאים לייצור אלומיניום או חלקי פלסטיק. AM של חלקים בחומרים בעלי מורכבות מבחינת הרכב הרכיבים, יש לקחת בחשבון מהם החומרים שיש לקחת לייצור האובייקט הסופי (Tofail et al., 2018).

10.2 סוגי חומרים להדפסת תלת מימד

במהלך 30 השנים האחרונות, נעשה אפיון של מגוון רחב של חומרים להדפסת תלת מימד. עם זאת, רק סוגים מסוימים של חומרים ניתנים לעיבוד בסוגים מסוימים של מדפסות תלת מימד. החומרים בהם משתמשים כיום במידה הרבה ביותר מסוכמים בטבלה הבאה.

טבלה 20: חומרים נפוצים להדפסת תלת מימד

Organic	Ceramic	Polymeric	Metallic	Others
Waxes	Alumina	ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)	Aluminum	Nanomaterials
Living cells	Mullite	Polyamide (nylon)	Tool steel	Fibers, carbon fiber, glass fiber, composites
Wood and paper	Zirconia	PLA (polylactic acid)	Titanium	Resins, furan, melamine, phenolic
Food staff	Silicon carbide	PEEK & PEKK	Inconel	Wood pulp
Bio-links: stem cells & tissues	Silica (sand)	Thermosetting epoxies	Cobalt: chrome	Aerogels
Bone material: Beta-tri calcium phosphate	Plaster	Hydrogels	Copper	Graphene
	Graphite	PMMA	Gold/platinum	
	Concrete	Polycarbonate	Hastelloy	
	Glass	Polyphenylsulfone	Tungsten	
	Clay	ULTEM (PEI)	Shape memory alloy	
	Ceramic (nano loaded epoxies)		Stainless steel	
	Filled polymers			
		Polymer-coated metallic powders		

מקור: עיבוד של צוות מוסד שמואל נאמן ל- Bcc Research

¹⁸⁷ BCC Research. (2018). Advanced Materials for 3D Printing: Technologies and Global Markets. Report Code: AVM101C

פלסטיקה ופולימרים

מקצת הפולימרים בשימוש האדם הם פולימרים טבעיים ומקצתם סינתטיים. הפולימרים הסינתטיים ידועים בשם פלסטיקה שהיא הסוג הנפוץ ביותר של חומרי הדפסת תלת מימד. **את הפולימרים מסווגים לשתי משפחות עיקריות: תרמופלסטים ותרמוסטים.** ישנם הבדלים מהותיים ביניהם שמשפיעים על סוג השימוש שניתן לעשות בהם לצורכי הדפסה. חומר תרמופלסטי במצב מוצק ניתן להתיך ולהשתמש בו שוב ואילו חומר תרמוסטי ניתן להפוך למוצק רק פעם אחת. לאחר מכן, בחשיפה לחום גבוהה הוא יתפרק ויישרף.

פולימר תרמוסטי

פולימר שבין שרשרותיו קיימים קשרים קוולנטיים חזקים (קשרי צילוב). חומרים אילו עמידים בטמפרטורות גבוהות יחסית ואינם מתרככים כשמעלים את הטמפרטורה ואינם ניתכים, לכן אינם ניתנים למחזור. חימום עד שבירת קשרים קוולנטיים יגרום לפרוקם. המצב לא הפיך. דוגמאות: אפוקסי, ניילון, טפלון, בקליט. עיצובם נעשה תוך כדי פילמור. תכונות מכניות של פולימרים תרמוסטים: פריכים, קשיחים, עמידים בשחיקה, אינם נמתחים, נשברים כשמופעל עליהם כוח חזק, מגלים עמידות בטמפ' גבוהות (מאות מעלות).

להדפסה בחומרים תרמוסטים מספר יתרונות ייחודיים. התוצר הוא בעל פני שטח חלקים, ניתן לקבל חלקים בשקיפות טובה וניתן לקבל דיוק בפרטים קטנים. יכולות חשובה נוספת, היא היכולת לגוון את החומר בפיגמנטים שונים ולקבל מודל צבעוני.

לחומרים התרמוסטים מספר חסרונות שמגבילים את ההתאמה שלהם בעיקר למודלים קונספטואלים ולא למוצר סופי. התוצר של מדפסות בחומרים פוטופולימרים מתקשה לשמור על תכונותיו לאורך זמן. החומר, בחשיפה לאור, ממשיך להתקשות, צבעו נעקר והוא הופך לשביר. החומרים הפוטופולימרים רגישים מאוד לסביבה רטובה. הם סופחים לחות ואינם שומרים טוב על המידות. התכונות הללו הופכות אותם מתאימים למודלים בעלי אורך חיים קצר ולא כתחליף למוצר סופי המיוצר בשיטות הייצור המסורתיות. חסרונות נוספים קשורים להשפעה הסביבתית של החומרים הפוטופולימרים. במצב הנוזלי של שרף הם רעילים ולא מומלצים למגע עור או נשימה. מוצר סופי במצב מוצק, הם אינם ניתנים למחזור.

פולימר תרמופלסטי

פוטופולימרים הם חומרים תרמופלסטים בעלי יכולת להפוך מנוזל למוצק בחשיפה לאור, בעיקר לתאורת UV. היכולת של חומרים אלו להפוך למוצקים מנוצלת בהדפסה בשיטת SLA או סטריאוליטוגרפי. חומר הגלם מגיע במצב נוזל סמיך ומכונה שרף או resin. את החומר הופכים למוצק בחשיפה לאור באורכי גל מתאימים. קיימות שלוש שיטות מקובלות להפיכת השרף הפוטופולימר למוצק.

1. קרן לייזר "מציירת" על השרף שיכבה אחר שיכבה.
2. מקרן DLP המטיל תמונה באור UV על כל השיכבה וממזק רק את האזורים המוארים.
3. הדפסה מדויקת של החומר בדומה להזרקת דיו בשיכבה דקה לפי הצורה הרצויה וחשיפה מידית של כל השיכבה לאור.

היכולת של חומרים תרמופלסטים לעבור ממצב מוצק לנוזל וחזרה ולשמור על תכונותיהם גם לאחר התכה וקרור הופכת אותם למתאימים ליישומי רבים. הדפסת תלת ממד עם חומרים תרמופלסטים מתבצעת בשתי שיטות עיקריות. השיטה הראשונה, הנפוצה ביותר, היא חימום של חוט פלסטיק (בדרך כלל ABS או PLA) לטמפ' התכה כאשר החומר נדחף דרך נחיר צר המצייר את השיכבה. כאשר החומר עוזב את הנחיר, הוא מתקרר חזרה והופך למוצק. דרך יצור נוספת היא ה-SLS. בשיטה זו חומר הגלם מגיע בצורת פלסטיק הטחון דק לאבקה (בדרך כלל פוליאמיד) הוא מחומם בתנור ובעזרת קרן לייזר מקורב לטמפ. ההתכה כדי לייצר את השיכבה.

לחומרים התרמופלסטים יתרונות רבים כגון: חוזק מבני, שמירה על מידות לאורך זמן והתאמה למוצרי מזון ומגע עור. את התוצר הסופי ניתן למחזר והוא בטוח לשימוש. בהדפסת תלת ממד עם חומרים תרמופלסטים לא ניתן לקבל שקיפות, פני השטח אינם חלקים ובחלקים קטנים, קשה לשמור על פרטים.

10.2.1 יישומים

בין הפולימרים התרמופלסטיים השונים, המיועדים ליישומי הדפסת תלת מימד, השימוש הנפוץ ביותר הוא בחומרים הבאים: poly(lactic acid) (PLA), acrylonitrile butadiene styrene (ABS), poly(vinyl alcohol) (PVA), polyamides or nylons, polycarbonate and polyetherimide.

טבלה 21: פולימרים תרמופלסטיים המשמשים להדפסת תלת מימד ויישומיהם

Name	Major Properties	Applications
Poly(lactic acid) (PLA)	Sustainable Biodegradable	Medical devices Hobbyists
Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)	Strength	Consumer products Other manufactured products
Poly(vinyl alcohol) (PVA)	Water soluble Biodegradable	Support structures for 3D-printed objects
Polyamides (nylons)	Strength Resilience Abrasion resistance	Mechanical parts
Polycarbonate (PC)	Strength Impact resistance	Automotive Aerospace Medical devices
Polyetherimide (PEI)	Strength Durability Chemical and heat resistance Flame retardance (some types)	Aerospace Medical devices
Others		
Polyethylene terephthalate (PET)	Strength Impact resistance Flexibility Light weight	Phone cases Wearable devices Robotics Mechanical parts
High-impact polystyrene (HIPS)	Soluble in limonene	Support material
Polypropylene (PP)	Strength Stiffness Fatigue resistance Temperature resistance Chemical resistance Smooth surface finish	Prototypes Consumer goods Laboratory equipment Automotive parts
Polyethylene (PE)	Sustainable Recyclability	Low-cost manufactured goods
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	Chemical resistance Low coefficient of friction	"invisibility cloak"
Acetal (POM)	Wear resistance Low coefficient of friction	Gears Bearings Moving parts
Polyetheretherketone (PEEK) and other members of polyaryletherketone (PEAK group)	Stiffness Temperature resistance Chemical resistance Wear resistance Insulating properties Light weight Biocompatibility Recyclability	Prototypes Machine parts Medical devices
Poly (methyl methacrylate) (PMMA)	Strength Light weight Transparency Biocompatibility	Prototypes Medical devices Furniture Jewelry
Polyphenylsulfone (PPSF or PPSU)	Tensile strength Heat resistance Chemical resistance	Prototypes Automotive parts Aerospace applications
Polyurethane	Elasticity Abrasion resistance	Medical devices Customer fashion objects
Thermoplastic elastomer (TPE)	Flexible Elastic UV	Automotive parts Household appliances Medical supplies Customer goods Outdoor applications

מקור: עיבוד של צוות מוסד שמואל נאמן ל- Bcc Research

הטבלה הבאה מפרטת יישומים ספציפיים של חומרים תרמופלסטיים המשמשים להדפסת תלת מימד. תרמופלסטיים להדפסת תלת מימד נמצאים בשימוש נרחב ביישומי אב-טיפוס.

טבלה 22: יישומי חומרים תרמופלסטיים להדפסת תלת מימד

Sector	Applications
Aerospace	Aircraft production tooling Aircraft parts Mars rover parts Unmanned aircraft
Architecture	Architecture models
Automotive industry	Prototypes Custom motorcycle parts
Customer products	Prototypes Toys Athletic shoes Eyeglass frames Jewelry Art
Construction	3D-printed building materials
Education	Industrial training equipment
Electronics	Loudspeakers
Hobby, art and personal use	Toys Jewelry and other personal accessories Art objects Home repair parts
Medical and dental	Surgical models Prosthetics Bone implants Medical robotics Contrast agent injection systems
Military and defense	Prototypes Replacement parts
Miscellaneous products	Marine products

מקור: עיבוד של צוות מוסד שמואל נאמן ל- Bcc Research

דוגמאות ליישומי תרמופלסטיים ותרמוסטיים:

תעופה וחלל: חלקי תעופה וחלל עשויים בד"כ מתרמוסטיים, בגלל עמידות טובה בחום, חוזק מכני ויציבות ממדיית. מהנדסי תעופה וחלל עושים שימוש בתרמופלסטיים בהדפסת תלת מימד לצורך בניית הדגמים לרעיונות, לבניית אבי טיפוס ולייצור חלקים.

ארכיטקטורה: אדריכלים עושים שימוש נרחב בתרמופלסטיים, במודלים להמחשה של עיצובים שלהם ולהצגתם בפני לקוחות. דגמי הדפסת תלת מימד המיוצרים מחומרים תרמופלסטיים מהווים אלטרנטיבה מהירה וחסכונית לשיטות מסורתיות ליצירת דגמים מנייר או מעץ.

תעשיית הרכב: אב טיפוס מהיר באמצעות שימוש בתרמופלסטיים כמו ABS נעשה באופן שוטף על-ידי רבים מיצרני הרכב ויצרני החלקים הגדולים בעולם. כמו בתעשיית החלל כך גם בתעשיית הרכב, תרמופלסטיים בהדפסת תלת מימד מתחילים לשמש לייצור בפועל של חלקים.

מכשירי חשמל: הדפסת תלת מימד של רכיבים אלקטרוניים מפלסטיק נמצאת עדיין בראשית דרכה. חוקרים מאוניברסיטת קורנל ומאוניברסיטת סטנפורד פתחו מדפסת להדפסת רמקול תלת מימד שעובד על ידי שילוב החלקים הפלסטיים, המוליכים והמגנטיים. ההעדפה בנישה זו הינה לשימוש בתרמוסטיים.

10.2.2 הערכת גודל השוק ותחזית

מחקר BCC מעריך כי השוק עבור תרמופלסטים המשמשים בהדפסת תלת מימד עמד על 181.3 מיליון דולר בשנת 2017, עם קצב צמיחה שנתי מורכב (CAGR) של 21.7%. בקצב זה השוק אמור להגיע לכ-589 מיליון דולר בשנת 2023.

תחום הרכב היה משתמש הקצה הגדול ביותר של חומרי הדפסה תרמופלסטיים לתלת מימד בשנת 2016, עם יותר מ-27% מהשוק. ענף מוצרי הצריכה היה שני, עם כ-20.8%, ורפואת שיניים הייתה שלישית עם כ-20%. מוצרים מודפסים בתלת מימד ליישומי צרכנים, ברפואה וברפואת שיניים ויישומים אחרים, צומחים במהירות רבה יותר ממוצרים ליישומי רכב וחלל. כתוצאה מכך, חלקו של ענף הרכב מכלל הצריכה צפוי לרדת מ-27% בשנת 2017 ל-9.3% בשנת 2023, וחלק החלל והתעופה עשוי לרדת מ-17.8% ל-8.4%. חלקם של מוצרי הצריכה צפוי לעלות מ-20.8% ל-23.8%, ויישומי רפואה ורפואת שיניים יעלו מ-20% ל-35.5%.

10.3 פוטופולימרים (Photopolymers)

פוטופולימר הוא פולימר הנוצר מ-monomers או oligomer molecules בחשיפה לאור, בדרך כלל באורכי גל UV. monomers המשמשים להדפסת תלת מימד בדרך כלל כוללים acrylate and methacrylate בשילוב עם רכיב לא פולימרי להשגת יציבות ממדית). קיימים גם סוגים מיוחדים אחרים של חומרי הדפסת תלת מימד פוטופולימרים בעלי קשיחות, עמידות ותכונות אחרות, שאינם נמצאים בפוטופולימרים קונבנציונליים.

10.3.1 יישומי פוטופולימרים

מחוץ לתחום הרפואה ורפואת השיניים, פוטופולימרים מודפסים בתלת מימד משמשים בעיקר לבניית אבי טיפוס ודגמים. מצב זה צפוי להשתנות, היות שפוטופולימרים מודפסים בתלת מימד משמשים למספר גדל הולך של יישומי קצה בחלקי רכב ובסוגים אחרים של מוצרים.

דוגמאות ליישומי פוטופולימרים:

רכב: עם הזמן הרחיבה תעשיית הרכב את השימוש בסטריאוליטוגרפיה (stereolithography), החל מאב טיפוס מהיר לדגמי מנהרות רוח וחלקים למשתמשי קצה.

רפואה ושיניים: אנשי מקצוע בתחום הרפואה ויצרני המכשירים הם המשתמשים הגדולים ביותר של פוטופולימרים מודפסים בתלת מימד. השימוש בהם נעשה במודלים רפואיים ורפואת שיניים, תותבות, פלטות אורתודונטיות, מכשירי שמיעה, מכווני קידוח שיניים ומבנים לגידול תאים.

Microfluidics- מיקרו-פלוואידיים: חוקרים משתמשים בפוטוליטוגרפיה תלת מימדית כדי לייצר שבבים מיקרו-פלוואידיים. בדרך כלל, הם בונים שבבים מיקרו-פלוואידיים בטכניקות כמו ליטוגרפיה, הדורשות תהליך יקר וארוך כדי להכין צילומי מסך דו-מימדיים המכילים את עיצוב השבב.

10.3.2 הערכת גודל השוק ותחזית לפוטופולימרים המשמשים להדפסת התלת מימד

מחקר של BCC העריך את השוק העולמי של פוטופולימרים המשמשים להדפסת תלת מימד בסך 389.8 מיליון דולר בשנת 2017. נתון זה צפוי לגדול 2018 ל-974.6 מיליון דולר בשנת 2023, בקצב צמיחה שנתי ממוצע (CAGR) של 16.5% בין 2018 ל-2023.

תחום הרפואה ורפואת השיניים היה משתמש הקצה הגדול ביותר של חומרי הדפסה פוטופולימרים בתלת-מימד בשנת 2017, עם קרוב ל-25% מהשוק. ענף הרכב היה שני עם כ-19.9%, וסקטור מוצרי הצריכה במקום השלישי עם 19.7%. שוק הפוטופולימרים המודפסים בתלת מימד ליישומי חלל ויישומי צריכה, צומח במהירות רבה יותר מהשוקים עבור יישומי רכב, רפואה ורפואת שיניים ואפליקציות אחרות. כתוצאה מכך, חלקו של ענף התעופה והחלל מכלל צריכת חומרים פוטופולימרים תלת-מימדיים צפוי שיעלה מ-14.4% בשנת 2017 ל-

14.5% בשנת 2023, וחלקו של ענף מוצרי הצריכה צפוי שיעלה מ- 19.7% בשנת 2017 ל- 29.9% בשנת 2023. נתח השוק עבור יישומים אחרים אמור לרדת מ- 20.9% ל- 11.7%.

10.4 קרמיקה (Ceramics)

הדפסת תלת מימד בקרמיקה הינה הטרנד האחרון. חומרים קרמיים משמשים למגוון רחב של יישומים, כולל בתעשייה הכימית, מכונות, אלקטרוניקה, חלל והנדסה ביו-רפואית. התכונות שהופכות אותן לחומרים מגוונים הן חוזק מכני גבוהה וקשיות, יציבות תרמית וכימית טובה וביצועים אופטיים, שמליים ומגנטיים ברי קיימא.

רכיבי קרמיקה הופכים לצורות הרצויות החל מתערובת של אבקה עם או בלי ביינדרים ותוספים אחרים, תוך שימוש בטכנולוגיות קונבנציונאליות, כולל דפוס הזרקה, die pressing, tape casting, יציקת ג'ל וכדו'.

עם זאת, טכניקות אלה בקרמיקה, מעלות מגבלות כגון זמן עיבוד ממושך ועלויות גבוהות. עיבוד רכיבי קרמיקה נוטה להיות בעייתי במיוחד בשל הקשיות הרבה שלהם ונטייתם להישבר (Zhangwei et. Al., 2019).

ההתקדמות במדע החומרים איפשרה גם photopolymerize pre-ceramic polymers (PCPs) להפיכה ל-polymer-derived ceramic (PDC) באמצעות טיפול בחום. טכניקות מבוססות פוטו-פולימריזציה כגון stereolithography (SL) ונגזרותיה, כלומר עיבוד אור דיגיטלי (DLP) ו-two-photon polymerisation (TPP), יחד עם inkjet-based inkjet printing (IJP) and extrusion-based direct ink writing (DIW)

אבקות תחמוצת או precursors כמו carbonates או hydroxides מעורבבים עם שרף סיליקון ל-DIW דווח כי הם מייצרים חלקים קרמיים חד-שלביים או רב שלביים עם ביצועים נאותים, שמתאימים ליישומי הנדסת רקמות. ניצול הפורמליות הייחודית של PCP (למשל PMS, polymethylsilsesquioxane) משמש גם כמחזק פולימרי וגם כמקור קרמיקה SiOC. Franchin et al. דיווחו על פיתוח דיו המכיל מיקרו-סיבים שמתאימים ל-DIW ומאפשרים מבנים מורכבים מקרמיקה-ceramic matrix composite עם צורות מורכבות לייצור.

המחקר שלהם הוכיח כי תוספת של כמות קטנה של תחמוצת גרפן (graphene oxide) הנמוכה מ- 0.1% עזרה בשיפור היציבות המבנית במהלך הירי וצמצום הצטמקות ה-PCP.

המרכיבים המורכבים של SiOC הציגו מוליכות חשמלית בגלל אובדן קבוצות תפקוד מחומצת גרפן כתוצאה מהירי.

ניתן לסווג חומרי הדפסת תלת מימד קרמיים לפי מאפייניהם הכימיים או העיקרון המעצב שלהם (Formative principle). החומרים הקרמיים שנפוצים בהדפסת תלת מימד כוללים את החומרים המופיעים בטבלה הבאה:

טבלה 23: קרמיקה בשימוש בהדפסת תלת מימד

Ceramic type	Remarks
Alumina silica	Thermally and chemically resistant, relatively inexpensive, food-safe, especially suitable for house décor items and tableware
Aluminum oxide	Like alumina silica, but stronger and harder; also used for home décor items and tableware and hobby items
Zirconium oxide	Noted for its exceptional fracture toughness and strength, which make it especially suitable for highly stressed mechanical components, as well as for biomedical applications and prosthetics
Tricalcium phosphate	Used as a bone substitute due to its similarity to the mineral phase of human bone and its biocompatibility

מקור: עיבוד של צוות מוסד שמואל נאמן ל- Bcc Research

יישומי קרמיקה בהדפסת תלת מימד

השוק לרכיבי קרמיקה מודפסים בתלת מימד נמצא עדיין בשלבי פיתוח מוקדמים. נכון לעכשיו, מרבית רכיבי הקרמיקה המיוצרים הם אב טיפוס של פריטים שיוצרו באופן מסחרי, אם בכלל, בטכנולוגיות ייצור אחרות של קרמיקה. קיים מספר קטן יחסית של יישומי משתמש קצה עבור רכיבי קרמיקה מודפסים בתלת מימד. היישומים הם בעיקר בתחום כלי שולחן ואומנות קרמיקה.

דוגמאות ליישומי קרמיקה בתלת מימד:

תעופה וחלל: בדיקות בינלאומיות- גופי תנור חימום קרמיים שפותחו, תוכננו ויוצרו על ידי Technology Assessment and Transfer (TA&T) of Annapolis, Md. היו בסט מכשירי הבדיקה של נאס"א שנחת על המאדים בשנת 2012. גופי התנור יכולים לעמוד בטמפרטורות הקיצוניות הנדרשות לחימום דגימות אדמה. כתוצאה מהצלחת התנור, חברת TA&T מפתחת כעת עיצובים משופרים ומותאמים במיוחד עבור נאס"א, שישפרו את היכולות הקיימות.

חומרי בנייה- לבנים. האדריכל בריאן פיטרס, התנסה בהדפסת תלת מימד של לבנים וחומרי בניין קרמיים אחרים על ידי החדרת a liquid earthenware material. פיטרס רואה את העתיד כך שקבוצה של מדפסות תלת מימד תוכל לשמש כמפעלים ללבנים ניידים וזולים לפרויקטים גדולים של בנייה.

רפואה ורפואת שיניים: זהו יישומי רפואה ורפואת שיניים מבטיחים של קרמיקה מודפסת בתלת-מימד, אולם המחקר עדיין נמצא בשלב מוקדם יחסית. לאור עובדה זו, בנוסף לתהליך הבדיקה הרגולטורי הממושך הנדרש למכשירים כמו פיגומי עצמות, לא צפוי שיישומים אלו יהיו בשימוש לפני שנת 2021.

10.4.1 הערכת גודל שוק ותחזית של קרמיקה לשימוש בהדפסת התלת מימד

כיום השוק לחומרי הדפסת תלת מימד קרמיים הינו קטן. מחקר של BCC מעריך את הערך הכולל של חומרים קרמיים הנצרכים בהדפסת תלת מימד בכ- 3.9 מיליון דולר בשנת 2017. שוק זה צפוי לצמוח בקצב צמיחה שנתי (CAGR) של 17.3%, שיגיע ל- 10 מיליון דולר בשנת 2023. תחזיות אלה מניחות כי שוק הקרמיקה המודפסת בתלת-מימד יצמח לפחות באותה מהירות כמו השוק להדפסת הזרקת דיו דו-מימדי על קרמיקה.

Alumina הייתה חומר ההדפסה התלת מימדי הקרמי הנפוץ ביותר בשנת 2017, והיוותה כמעט 48.7% מכלל הצריכה. Zirconia היא קרמיקה נפוצה נוספת ליישומי הדפסת תלת מימד, עם נתח של כמעט 38.5%. כיום משתמשים פחות בקרמיקה כמו hydroxyapatite.

אלומיניום וחומרים קרמיים מבוססי זירקוניה צפויים להמשיך ולשלוט בשוק עד 2023, אם כי נתח השוק של סוגי חומרים אחרים צפוי לעלות.

תחום מוצרי הצריכה היה משתמש הקצה הגדול ביותר של חומרי הדפסת קרמיקה תלת מימדית בשנת 2017, יותר מ- 64% מהשוק. תחום הרפואה ורפואת השיניים היווה כ- 17.9%, ותחום התעופה והחלל היווה כ- 5%.

מחקר של BCC צופה שמוצרי צריכה כמו כלי שולחן ימשיכו לשלוט בשוק עד שנת 2023, עם נתח שוק של קרוב ל- 51%. חלקו של ענף התעופה והחלל אמור לרדת מעט לכ- 4% מהשוק, ואילו חלקו של המגזר הרפואי ומגזר רפואת השיניים אמור לגדול ליותר מ- 24% בשנת 2023. חלקם של יישומים אחרים, כגון חומרי בניין, יגדל לכ- 21% בשנת 2023 מ- 12.8% ב-2016.

10.5 מתכות

אבקות מתכת ליישומי הדפסת תלת מימד הן תת-תחום של שוק אבקות המתכת הגדול. חומרי הדפסת תלת מימד מתכתיים מאופיינים בדרך כלל על ידי a spherical morphology and high packing density, המעניקים להם תכונות זרימה טובה, שחיוניות כדי להבטיח בניית חלקים אחידה ועקבית.

אבקות מתכת להדפסת תלת מימד מגיעות בגודל חלקיקים המותאם למערכת ההדפסה שבה נעשה שימוש. ניתן גם להתאים אותן לדרישות היישום לשימוש הסופי מבחינת ביצועים מכניים וגימור פני השטח. מתכות המשמשות להדפסת תלת מימד כוללות את אלה המתוארות בטבלה הבאה.

טבלה 24: מתכות בשימוש בהדפסת תלת מימד

Metal type	Remarks
Stainless steel	Used when both the properties of steel and resistance to corrosion are required, such as for medical devices, food and chemical plant parts, and motor vehicles
Titanium	Highest strength-to-density ratio of any metallic element; highly resistant to corrosion, biocompatible, and bioadhesive; applications include aerospace and medical implants
Nickel alloys	Heat and corrosion resistant; strong and suitable for subsequent heat treatment and machining; used to make part components that operate under severe thermal conditions and with a high-risk of oxidation
Superalloys	Characterized by high strength, hardness, temperature, corrosion resistance and biocompatibility; used in medical devices, implants, dental prostheses and high-temperature engineering applications

מקור: עיבוד של צוות מוסד שמואל נאמן ל- Bcc Research

הרשימה אינה כוללת זהב, כסף או ברונזה. הדפסת תלת מימד משמשת לייצור תכשיטים ופריטים אחרים ממתכות אלו, אך עבור יישומים אלה, תפקידה של מדפסת התלת מימד מוגבל להדפסת השעווה או התבנית המשמשת לאחר מכן לאובייקט ממתכת מותכת.

התפתחויות תלת מימד חדשות

דפוס רב-מתכתי Multi-metal Printing: בתחילת 2016 הודיעה (NVBOTS Boston, Mass.) על פיתוח טכנולוגיה חדשה להדפסת תלת מימד של אובייקטים באמצעות מתכות מרובות (multiple metals). לטענת החברה, הטכנולוגיה החדשה תפעל באופן פוטנציאלי כמעט עם כל חומר מתכתי, תוכל להשתמש במתכות מרובות לאורך כל הבנייה, ותייצר חלקים מוגמרים בזמן מהיר פי עשר מ-selective laser sintering (SLS). ביציקה של מתכות בעלות טמפרטורות היתוך שונות, בקירור נוצרים אזורים חד-מרכיביים, וזה יתרון ההדפסה או הסנטור.

הדפסת דיו מתכת Metal Inkjet Printing: צוות אוניברסיטת נורת'וסטרן יצר דיו נוזלי מאבקות מתכת, ממיסים ומכיל אלסטומר שניתן להדפיס דרך זרבובית באותה דרך כמו במדפסות תלת מימד מבוססות פלסטיק. לאחר מכן מסננים את המבנים המודפסים, תהליך בו הם מחוממים בכבשן כדי לאפשר לאבקות להתמזג יחד מבלי להינמס.

חברת Xjet הישראלית פיתחה טכנולוגיה להדפסת דיו של חלקיקים מתכתיים. דיו מתכתי, שהוא בעצם תערובת של חלקיקי ננו-מתכת בנוזל, מוזרק דרך ראשי הדפסת פייזו (piezo-print heads), כמו בטכנולוגיות jetting אחרות. אחד היתרונות של טכנולוגיה זו הוא בכך שהיא יכולה להשתמש בחלקיקים בגדלים שונים. החלקיקים מסדרים את עצמם ליצירת מבנה צפוף לחלוטין, אפילו יותר מאשר אבקת מתכת מיקרוסקופית רגילה.

10.5.1 יישומי מתכת בהדפסת תלת מימד

היישומים העיקריים עבור חומרי הדפסת מתכת בתלת מימד הינם כיום בתעופה וחלל (למשל, מטוסים צבאיים) ובמוצרי רפואה ורפואת שיניים. השימוש בחומרים אלה בתעשייה הקשורה לתחום הרכב וההגנה, למעט כלי טיס, צפויה להתפתח במהלך השנים לקראת 2021.

דוגמאות ליישומי מתכת בתלת מימד:

תעופה וחלל: תעשיית התעופה והחלל עושה שימוש מוגבל אך גדל בהדפסת מתכת תלת מימד כדי ליצור אבות טיפוס פונקציונליים וחלקי ייצור. נאס"א השתמשה בהתכת מתכת סלקטיבית בהצלחה רבה לבניית רכיבי מנוע לטילים מפלדה. המהנדסים של נאס"א הצליחו לייצר חלקים בגיאומטריה מורכבת, עם דיוק ממדי מעבר למה שניתן היה להשיג בשיטות ייצור מסורתיות.

סוכנות החלל האירופית (ESA) הטמיעה יוזמה חדשה לעדן טכניקות הדפסת תלת מימד לייצור חלקי מתכת בגודל מתאים לחלל. ESA מקווה שהפרויקט, שנקרא AMAZE, יוביל את החידושים שיאפשרו בעתיד

לאסטרונוטים להדפיס כלי מתכת משלהם על תחנת החלל הבינלאומית או לאפשר למהנדסים בשטח להדפיס לוויינים שלמים.

בשנת 2013 הודיעה BAE Systems כי מטוס קרב טורנדו עם חלקים מתכתיים מודפסים בתלת מימד ביצע טיסת מבחן מוצלחת בבריטניה. בינתיים, סין ייצרה רכיב מלוחמת התגבות J-20 או J-31 שלטענתה הוא רכיב קריטי למטוס הטיטניום (titanium aircraft) הגדול בעולם המיוצר בטכנולוגיית הדפסת תלת מימד. לדברי היצרן AVIC Laser of Beijing, הדפסת תלת מימד עשויה להוזיל את עלות חלקי הטיטניום לכדי -5% מהמחיר הנוכחי.

אותה טכנולוגיה מיושמת במטוסים אזרחיים. חברת Airbus וחברת הבת שלה APWorks בשיתוף עם חברת האדריכלות The Living החלו לייצר את חלק המטוס הגדול ביותר בעולם המודפס בתלת מימד. חברת GE Aviation, שלפי הדיווחים היא המשתמשת הגדולה בעולם בטכנולוגיית הדפסת תלת מימד במתכות, צופה להשתמש בהדפסת תלת מימד לייצור cobalt chrome fuel nozzles 100,000 למנועי סילון עד 2020. האוניברסיטה הפוליטכנית הצפון-מערבית בסין השתמשה בהדפסת תלת מימד כדי לייצר 5-meter-long titanium wing beam for the C919 passenger plane C919,

תהליך EBM משמש כיום על ידי Avio S.p.A. מאיטליה לייצור להבי טורבינת y-TiAl למנועי אוויר.

רפואה ורפואת שיניים: הדפסה תלת מימד משמשת בתעשייה הרפואית ליצירת עזרים כירורגים ואבחונים, פיתוח תותבות ומוצרים רפואיים, הנדסת רקמות, עיצוב כלים וציוד רפואי. EOS Titanium Ti64ELI היא מתכת קלה, עמידה בפני קורוזיה ואדישה מבחינה ביולוגית. שמתאימה להדפסת תלת מימד של שתלים רפואיים.

EOS Stainless-steel 316L עמידה בפני קורוזיה ומתאימה ביולוגית, מיועדת לשימוש עם מערכת EOSINT M.280 metal laser-sintering system בחברת EOS -אומרים כי סגסוגת הנירוסטה אידיאלית למכשירים כירורגיים, ניתוחים אנדוסקופיים, ארטופדיים ושתלים.

הדפסת טיטניום תלת מימד שימשה כדי לסייע בשיקום מבנה הפנים של מטופל בבריטניה. מנתחים רבים בודקים תהליכי הדפסת תלת מימד מתכתיים לייצור שתלים ארטופדיים.

10.5.2 הערכת גודל שוק ותחזית של מתכות המשמשות בהדפסת התלת מימד

מחקר BCC העריך את השוק העולמי של מתכות ששימשו בהדפסת תלת מימד ב-91.5 מיליון דולר בשנת 2017. שוק זה צפוי להגיע ל-529.9 מיליון דולר בשנת 2023. בהתבסס על קצב צמיחה שנתי ממוצע (CAGR) של 34%. ההנחה היא שהשוק ימשיך לצמוח בקצב זה עד 2023. טיטניום ופלדה, במיוחד פלדות אל חלד ומתכות בעלות ביצועים גבוהים, היו חומרי הדפסת התלת מימד המתכתיים הנפוצים ביותר בשנת 2017. טיטניום היווה כמעט 56.2% משוק זה, ופלדות בעלות ביצועים גבוהים היוו כמעט 36.9%. שאר המתכות, כולל זהב, כסף, טנטלום, טונגסטן וטיטניום, היוו יחדיו את השאר. טיטניום ופלדה צפויים להמשיך לשלוט בשוק עד 2023. פלדה צפויה לזכות בנתח שוק על חשבון טיטניום.

סקטור הרפואה ורפואת השיניים ותעשיית האוויר והחלל היו משתמשי הקצה הגדולים ביותר של חומרי הדפסת מתכת בתלת מימד בשנת 2017. סקטור הרפואה ורפואת השיניים היווה קרוב ל-49.9% מהשוק, ותעשיית האוויר והחלל כ-39%. מחקר של BCC צופה שמגזרי הרפואה ורפואת השיניים ומגזר החלל, ימשיכו לשלוט בשוק עד 2023. עם זאת, חלקו של מגזר הרפואה והשיניים צפוי לרדת לכ-32.5% עד 2023, ולעבור למקום השני אחרי מגזר החלל. יישומים מסחריים משמעותיים של הדפסת תלת מימד במתכת אמורים להתחיל להופיע גם בתחום הרכב ובמגזרים נוספים.

10.6 חומרים אחרים

קיימות מספר מגבלות לגבי סוגי החומרים שניתן להשתמש בהם להדפסת תלת מימד. דוגמאות לחומרים בעלי פוטנציאל הן: נייר, טיח, אבן, זכוכית, עץ, רקמות אנושיות ושל בעלי חיים ומזון. השוק המצטבר של חומרים אחרים אלה צפוי לצמוח מ-30.6 מיליון דולר בשנת 2017 ל-261.7 מיליון דולר בשנת 2023, בהתבסס על קצב צמיחה שנתי מורכב של חמש שנים (CAGR) של 43%.

טבלה 25: חומרים אחרים בשימוש בהדפסת תלת מימד

Material type	Remarks
Wax and wax-like materials	Used to print patterns for lost-wax casting/investment casting and mold-making applications, such as metalworking, dentistry and jewelry
Graphene	Extremely strong, electrically conductive, thermally and chemically resistant material that is not yet used commercially for 3D printing, but is expected to find applications by 2019 in areas such as electronics
Bio-ink	Potential applications in areas such as drug discovery, cosmetic and personal care products testing, and tissue grafts and implants

מקור: עיבוד של צוות מוסד שמואל נאמן ל- Bcc Research

שעווה וחומרים דמויי שעווה היוו את נתח השוק הגדול ביותר של חומרי הדפסת תלת מימד אחרים, אך חלקם צפוי לרדת מ-88.9% בשנת 2017 לכמעט 18.3% בשנת 2023. בינתיים, נתח השוק של ביו-דיו צפוי לעלות מכ-4.2% בשנת 2017 לכמעט 56.2% בשנת 2023 ואילו חלקם של חומרים אחרים צפוי לעלות מ-6.9% בשנת 2017 ל-19.9% בשנת 2023. תחום הרכב היה משתמש הקצה הגדול ביותר של חומרי הדפסת תלת מימד אחרים בשנת 2017, ואחריהם הגיעו רפואה ורפואת שיניים, מוצרי צריכה וחלל. עם זאת, מוצרי צריכה צפויים לצמוח בקצב המהיר ביותר.

10.6.1 יישומי שעווה בהדפסת תלת מימד

חומרי שעווה מודפסים בתלת מימד משמשים במחקר ופיתוח מתקדם, רפואת שיניים, עיצוב תכשיטים ומתכת, אומנות, אנימציה, סדנאות יציקה.

10.6.2 הערכת גודל שוק ותחזית של מתכות המשמשות בהדפסת תלת מימד

מחקר של BCC העריך את השוק העולמי של חומרי הדפסת שעווה בתלת מימד ב-27.2 מיליון דולר בשנת 2017. מחקר של BCC צופה כי שוק חומרי הדפסת השעווה בתלת מימד יגדל ב CAGR של 6% בין 2017 ל-2023. בקצב זה, השוק אמור להגיע ל-48 מיליון דולר עד 2023.

10.7 השוואה בין חומרים המשמשים להדפסת תלת מימד

בטבלה הבאה מובא ניתוח השוואתי בין החומרים המשמשים להדפסת תלת מימד.

טבלה 26: ניתוח השוואתי בין חומרים להדפסת תלת מימד

Materials	Advantages	Disadvantages
Plastics	Design flexibility Biodegradable in case of bioplastics Durable Availability of colors	Limited weathering resistance Flammable with high some generation Possibility of wrapping
Metals	Strong Malleable and ductile High weathering resistance Corrosion resistance	Low design flexibility Costly
Ceramics	Strong but flexible Availability of colors	Low detail Rigid compare to other materials
Precious metals	Strong but flexible High detail Can be plated	Costly
Composites	High mechanical strength Can be used for intricate design Good feature resolution Good surface finish	Difficult to work with due to complicated interlocking assemblies and joints

מקור: עיבוד מוסד נאמן ל- BCC Research

10.8 טכנולוגיות המשמשות להדפסת תלת מימד וחומרים המשמשים להדפסה

סקירה של טכנולוגיות שונות שבשימוש בהדפסת תלת מימד, כולל פירוט לגבי החומרים שבהם נעשה שימוש להדפסה בטכנולוגיות אלה.

Thermoplastic Extrusion

עיצוב תרמופלסטי היא הטכנולוגיה הנפוצה ביותר להדפסת תלת מימד בתרמופלסטים. חוט פלסטי מנוטרל מסליל ומספק חומרים לזרבובית. הזרבובית מורכבת על במה מכנית המאפשרת להזיז אותה מעל שולחן הבנייה בכיוונים אופקיים ואנכיים כאחד. כאשר הזרבובית מועברת מעל השולחן בגיאומטריה הנדרשת, היא מפקידה חרוז דק של פלסטיק שחולץ ליצירת כל שכבה. מיד לאחר ששחרר מהזרבובית, הפלסטיק מתקרר ומתקשה ונקשר לשכבה שמתחת.

Laser Sintering

Selective laser sintering (SLS) בונה חלקי תלת מימד על ידי שימוש בלייזר כדי לסנן באופן סלקטיבי (חום ונתיך) חומר תרמופלסטי אבקתי שפוזר בשכבה דקה מעל פלטפורמה בנויה בתוך מכונת SLS – לייזר בשליטת מחשב יוצר פעימות על הפלטפורמה, עוקב אחר חתך רוחב של העצם על האבקה. בתהליך הסינון, הלייזר מחמם את האבקה למעט מתחת לנקודת הרתיחה שלה, מה שממזג את החלקיקים באבקה יחד לצורה מוצקה.

לאחר היווצרות השכבה הראשונה, פלטפורמת הבנייה צונחת, בדרך כלל בפחות מ-0.1 מ"מ, ושכבה חדשה של אבקה מפוזרת עליה כדי שהלייזר יעקוב ויתמזג יחד איתה. תהליך זה חוזר על עצמו עד להדפסת האובייקט כולו. לאחר מכן משאירים את החפץ להתקרר במכונה לפני הסרתו.

Stereolithography

Stereolithography בונה חלקים פלסטיים או חפצים, שכבה אחת בכל פעם, על ידי התחקות של קרן לייזר על פני בור מים של פוטופולימר נוזלי. הגיאומטריה של חתך הרוחב של האובייקט מתייחסת לשכבה אחת בכל פעם על פני השטח של הפוטופולימר הנוזלי וגורמת לשרף להתקשות באזור בו הלייזר פוגע.

תחילה מונח שולחן שניתן להזיז במיקום מתחת לשטח הפולימר. לאחר שנעשה מעקב אחרי כל שכבה והיא מתקשה על ידי קרן הלייזר, השולחן מורד לבור במרחק השווה לעובי שכבה אחת. התהליך חוזר על עצמו עד לייצור שלם של החפץ שיושב על השולחן בתוך הבור. לאחר השלמת תהליך הייצור, החפץ מוגבה מהבור ומניחים לו להתנקז. לאחר מכן מנקים אותו בתיבה המכונה Post-curing apparatus (PCA).

Digital Light Processing - עיבוד אור דיגיטלי

בעיבוד אור דיגיטלי (DLP) digital light processing פולימר נוזלי נחשף לאור ממקרן DLP בתנאי אור בטוח. הפולימר הנוזלי החשוף מתקשה. לאחר מכן הצלחת הבנויה נעה מטה במרווחים קטנים והפולימר הנוזלי נחשף שוב לאור. התהליך חוזר על עצמו עד לבניית הדגם. לאחר מכן מרוקנים את הפולימר הנוזלי מהבור, ומשאירים את הדגם המוצק. בנוסף להימנעות משימוש בלייזרים יקרים, לשיטה זו יש את היתרון שאינה דורשת בור גדול של פוטופולימר. שיטת DLP מציעה גם רזולוציה טובה מאוד ותפעול מהיר.

DLP משמש גם להדפסת תלת מימד של חפצי קרמיקה ומתכת. עבור חפצי קרמיקה, שרף רגיש לאור מלא נחשף באופן סלקטיבי, שכבה אחר שכבה, בעובי של 25 מיקרון עד 50 מיקרון. לאחר בניית חלק מוצק המורכב מקרמיקה מלאה בפולימר, הפולימר נשרף להשגת תוצאה קרמית צפופה.

3D Inkjet Printing – הדפסת הזרקת דיו תלת מימדית

הדפסת הזרקת דיו תלת מימדית דומה להדפסת מסמכי דיו, אך במקום לזלף טיפות דיו על נייר, מדפסות התלת מימד מטילות שכבות של פוטופולימר נוזלי על מגש לבנייה. באמצעות אור UV השכבות העדינות מצטברות ליצירת דגם תלת ממדי או אב-טיפוס מדויק.

היתרונות של הדפסת הזרקת דיו תלת מימדית כוללים דגם עדין במיוחד, משטחים חלקים, מהירות ודיוק. הטכנולוגיה עובדת עם מגוון רחב של חומרים.

Direct Metal Laser

תהליך The direct metal laser sintering (DMLS), ממזג אבקת מתכת לתוך מוצק על ידי חימום מקומי באמצעות קרן לייזר ממוקדת עד כדי כך שהאבקה יכולה להתמזג יחד ברמה מולקולרית. בניגוד לתהליכים אחרים כמו התכת לייזר סלקטיבית DMLS, שלא ממיסה את האבקה לחלוטין. חלקים בנויים בהוספת שכבה אחר שכבה, בדרך כלל בעזרת שכבות בעובי 20 מיקרון.

Selective Laser Melting

בהתכת לייזר סלקטיבית (SLM), שכבות דקות של אבקת מתכת עדינה מופצות ברציפות על צלחת הבנייה באמצעות מנגנון ציפוי. לאחר ההפצה של כל שכבה, אנרגיית לייזר מועברת באופן סלקטיבי על פני האבקה, וממיסה את האבקה ליצירת הנתח המתאים לגיאומטריה של האובייקט במתכת מוצקה. התהליך חוזר על עצמו שכבה אחר שכבה עד להשלמת החלק.

4D Printing

המונח 4D Printing מתייחס בדרך כלל לטכנולוגיה המפותחת במשותף על ידי-Stratasys and MIT's Self-Assembly Lab. טכנולוגיה זו מייצרת עצמים שיכולים לשנות את עצמם ע"י תכנות מראש בתגובה לגירוי מסוים. בדוגמה אחת, מבנים תלת ממדיים מודפסים מחומרים בעלי תכונות שונות, כמו חומר שנשאר קשיח וחומר אחר שמתרחב עד 200% מהנפח המקורי שלו. החומרים המתרחבים מונחים בצורה אסטרטגית על המבנה העיקרי כדי לייצר מפרקים הנמתחים ומתקפלים. יישומים פוטנציאליים של טכנולוגיה זו כוללים רכיבים בעלי תאימות ביולוגית, הניתנים להשתלה בגוף האדם, שם הם יכולים לשנות צורה ותפקוד ללא התערבות חיצונית של רופא מנתח. יישומים אפשריים אחרים כוללים מוצרי צריכה כמו מוצרי בית ומוצרי טיפוח לילדים שיכולים להסתגל לחום או לחות כדי לשפר את הנוחות או להוסיף פונקציונליות.

10.9 דינמיקת השוק של חומרים מתקדמים לשוק הדפסת התלת מימד

גורמים המניעים את צמיחת החומרים המתקדמים לשוק הדפסת התלת מימד

הגברת השימוש בהדפסת תלת מימד ביישומי תעופה וחלל, רכב ורפואה

כיום טכנולוגיית הדפסת תלת מימד, הידועה גם בשם (AM) Additive Manufacturing, נמצאת בשימוש נרחב ביישומי תעופה וחלל, רכב ורפואה. תעשיית התעופה והחלל והביטחון אימצו בשלב מוקדם את טכנולוגיית ה-AM. ההתקדמות המתמשכת בטכנולוגיות הדפסת תלת מימד שינתה את הדרכים הפוטנציאליות בהן מוצרים מתוכננים, מפותחים, מיוצרים ומופצים. עבור תעשיית הרכב, ההתקדמות הזו פתחה דלתות לעיצובים חדשים יותר, זמני הובלה קצרים יותר, עלויות נמוכות יותר, ומוצרים נקיים, קלים ובטוחים יותר. בעוד שיצרני ציוד מקורי לרכב וספקים, משתמשים ב-AM בעיקר לייצור אב-טיפוס, המסלול הטכני של AM מוביל לשימוש בחדשנות במוצרים וייצור ישיר בנפח גבוה בעתיד.

היישומים הרפואיים של AM מתרחבים במהירות, ויישומים אלה צפויים לחולל מהפכה בתעשיית הבריאות. הדפסת תלת מימד מיושמת בתעשייה הרפואית מתחילת שנות האלפיים, אז נעשה שימוש לראשונה בהדפסת תלת מימד לייצור השתלות שיניים ותותבות בהתאמה אישית. ההתפתחות המהירה של טכנולוגיית הדפסת תלת מימד יכולה כעת לייצר עצמות, אוזניים, שלדים, עצם לסת, משקפי ראייה, תרבויות תאים, תאי גזע, כלי דם, רשתות כלי דם, רקמות ואיברים, כמו גם צורות מינון חדשות ומכשירים לתרופות. ניתן לארגן את השימושים הרפואיים הנוכחיים בהדפסת תלת מימד למספר קטגוריות רחבות: ייצור רקמות ואיברים, יצירת תותבות, שתלים ומודלים אנטומיים ומחקר תרופות בנושא גילוי, משלוח ומינון תרופות. כל הגורמים הללו תורמים בסופו של דבר לצמיחת שוק החומרים המתקדמים להדפסת תלת מימד.

התאמה אישית המונית

הדפסת תלת מימד היא אחת הטכנולוגיות שמאפשרות כיום התאמה אישית ללא עלויות נוספות. הטכנולוגיה מבטלת את העלות הראשונית של תבניות וכלי עבודה ספציפיים הנחוצים לטכניקות ייצור מסורתיות. כדי לייצר מוצר אחר, יש פשוט לעדכן את קובץ ה-3D, דבר שניתן לעשות ישירות ממידע שמגיע מהלקוח. מחיר הייצור

זוהי עבור פריט אחד או 1,000 פריטים שמודפסים בתלת מימד, וזה יעיל לייצר 1,000 פריטים מותאמים אישית כמו לייצר 1,000 חלקים זהים. בסוגי תרחישים כאלה, התאמה אישית המונית יכולה להתרחב משמעותית.

במספר תעשיות כמו בריאות (בעיקר רפואת שיניים), מוצרי רכב והנעלה קיימת כבר התאמה אישית באמצעות הדפסת תלת מימד. רופאי שיניים יכולים ליצור כמה מהמוצרים המותאמים ביותר באמצעות הדפסת תלת מימד במהירות רבה יותר ובעלות נמוכה יותר. מוצרים אלה כוללים שיניים, דגמים אורתודנטיים, כתרים, גשרים, תותבות ואפילו כלים כירורגיים. גם בענף ההנעלה, הדפסת תלת מימד תעזור ליצרנים להתמודד עם הביקוש לנעליים בהתאמה אישית תוך שמירה על עלויות ורווחים גבוהים.

גורמים המגבילים את צמיחת החומרים המתקדמים לשוק הדפסת התלת מימד

עלות חומר גבוהה

בענף הדפסת התלת מימד, היצרנים גובים על פי כמות וסוג החומר הדרוש לבניית החלק. עלויות החומר משתנות בהתאם לתכונות המכניות של החומרים ובהתאם לקלות ולמהירות של הייצור שלהם. עבור לקוח שמחפש את החומר החסכוני ביותר, פוטופולימר פשוט של אב טיפוס הוא כנראה האפשרות הטובה ביותר. אם ללקוח יש דרישות פונקציונליות ספציפיות, כגון צורך בחומר בעל חוזק גבוה, העלות עשויה להיות גבוהה יותר. כמות חומר התמיכה בעיצוב יכולה להשפיע גם היא על המחיר. אם העיצוב כולל זוויות תמיכה עצמית (בדרך כלל כ-45 מעלות ומעלה), יהיה צורך בפחות חומר לתמיכה ובכך ניתן יהיה להפחית את ההוצאות על החומר.

למחירי חומרי הגלם בתעשיית הדפסת התלת מימד יש השפעה שלילית לא רק על העלות של בעל הקניין אלא גם על העיכוב באימוץ רחב יותר של הטכנולוגיה. מחיר החומרים מעלה את רף הכדאיות ומטה את ההבדל בעלויות בין ייצור בשיטת ה-AM לייצור קונבנציונאלי. כאשר חלקים זולים יותר לייצור ב-additive מאשר באופן קונבנציונאלי, הגיוני לעשות בהם שימוש רב יותר. עלויות חומר גבוהות גורמות לרוב הארגונים שיש להם ציוד additive להשתמש בו בתדירות נמוכה יותר. סיבות אלה הן הגורם לכך שעלות חומר גבוהה מהווה גורם מעכב בצמיחת השוק של חומרי הדפסת תלת מימד מתקדמים.

ניתוח פטנטים

מחקר של BCC זיהה לפחות 90 פטנטים הרשומים בארה"ב הקשורים ישירות לחומרים המשמשים להדפסת תלת מימד, באמצעות חיפוש מילות מפתח במסד הנתונים האמריקאי לפטנטים וסימנים מסחריים (USPTO)

פטנטים לפי סוג חומר

פוטופולימר היווה את רוב הפטנטים (52 פטנטים, 58%), ואחריהם תרמופולסטיים ופולימרים (19 פטנטים, 21%) ומתכות (16 פטנטים, 18%).

Patent Portfolios

Ciba Chemicals (כיום חלק מ-BASF) ו-DTM (כיום חלק ממערכות תלת מימד) הם הגופים שהגישו את המספר הרב ביותר של בקשות לפטנטים, הקשורים לחומרי הדפסת תלת מימד, עם 10 פטנטים כל אחד (9.6%). גופים אחרים עם שלושה פטנטים או יותר כוללים את 3D SYSTEMS (7 פטנטים, 6.7%); אוניברסיטת קווינסלנד, אוסטרליה (6 פטנטים, 5.8%); Stratasys (5 פטנטים, 4.8%); טייג'ין סייקי (4 פטנטים, 3.8%); ו-Degussa/Evonik and CMET Bayer (3 פטנטים, 2.9% כל אחד).

ניתוח השוק

ענף החומרים להדפסת תלת מימד מרוכז מאוד. רק ארבע חברות: Arcam, ExOne, 3D SYSTEMS ו-Stratasys שולטות בכ-75% מכלל השוק. כ-71 חברות סה"כ מייצרות את עיקר החומרים המשמשים להדפסת תלת-מימדית, שהיו בשימוש ברחבי העולם בשנת 2017. מובילי השוק הגנו על מעמדם והרחיבו את השליטה שלהם בשוק באמצעות שורה של מיזוגים ורכישות.

מרבית החברות מייצרות חומרי הדפסה תלת ממדיים כחלק מקו מוצרים רחב יותר להדפסת תלת מימד הכולל מדפסות ו / או שירותי דפוס (35%), או שהן חברות מגוונות אשר קווי המוצרים שלהן כוללים חומרי הדפסת תלת מימד (36%). 29% הנותרים הם בעלי מומחיות לחומרי הדפסת תלת מימד.

3D SYSTEMS

היא ספקית מובילה של פתרונות תכנון לייצור תלת מימד, כולל מדפסות תלת מימד, חומרי הדפסה וחלקים מותאמים אישית לפי ענף בחומרים, כולל פלסטיק, מתכות, קרמיקה וחומרים אכילים. החברה מספקת גם תכנון משולב מבוסס סריקת תלת מימד, לניתוחים בהתאמה אישית ומכשירים רפואיים ספציפיים לחולה. מוצריה ושירותיה מחליפים ומשלימים שיטות מסורתיות, ומצמצמים את הזמן והעלות של עיצוב מוצרים חדשים על ידי הדפסת חלקים. פתרונות אלה משמשים לעיצוב מהיר, יצירה, תקשורת, אב-טיפוס או ייצור חלקים ומכלולים פונקציונליים.

EXONE

עם עשרות שנות ניסיון בייצור והשקעה משמעותית במחקר ופיתוח מוצרים, ExOne חלוצה בפיתוח דור חדש של טכנולוגיית ייצור מהיר בתחום additives manufacturing, כמו גם תהליכי מיקרו-מכשור מתקדמים. פתרונות התהליך של ExOne מעניקים ליצרנים את החופש לייצר חפצים שיש להם מורכבות עיצוב כמעט בלתי מוגבלת. החברה משתפת פעולה עם לקוחותיה לאורך כל תהליך הפיתוח והייצור. החברה תומכת בשימוש בחומרים בעלי חוזק תעשייתי מסורתי, החל ממתכות לקרמיקה ולזכוכית בדרכים מהפכניות.

ARCAM

Arcam מספקת פתרון יעיל לייצור תוספים לייצור רכיבי מתכת. היא אחד הספקים הגדולים ביותר של חומרי הדפסת תלת מימד. הטכנולוגיה מציעה חופש בעיצוב בשילוב עם תכונות חומר מעולות ופרודוקטיביות גבוהה. השוק של Arcam גלובלי עם לקוחות בעיקר בתעשיית השתלים האורטופדיים והחלל. החברה הוקמה בשנת 1997 והיא רשומה ב-NASDAQ OMX שטוקהולם, שוודיה. המשרד הראשי ומתקני הייצור נמצאים בשוודיה. משרדי התמיכה נמצאים בארה"ב, איטליה, סין ובריטניה.

STRATASYS LTD.

Stratasys Ltd. הינה פרי המיזוג בין שתי חברות AM מובילות. Objet Ltd. ו-Stratasys Inc. החברה הינה ספקית עולמית מובילה של פתרונות הדפסת תלת מימד. Stratasys מפתחת, מייצרת ומוכרת גם חומרים לשימוש במערכות שלה. לטענת החברה היא בעלת מגוון של יותר מ-120 חומרים מתכלים להדפסת תלת מימד (למשל 110 חומרים פוטופולימרים ו-10 חומרים תרמופלסטיים) שהינו הרחב ביותר בענף.

10.10 סיכום

פוטופולימרים היוו את נתח השוק הגדול ביותר (55.9%) ב-2017, אך הצמיחה שלהם הינה האיטית ביותר. כתוצאה מכך, נתח השוק של מגזר זה אמור לרדת והצפי הוא שתרמו-פלסטיקה תישאר המגזר השני בגודלו. קרמיקה מהווה פחות מ-0.6% מהשוק. חלק השוק של מתכות צפוי לעלות עד 2023 וכך גם נתח השוק של חומרים אחרים (בעיקר שעווה בשנת 2017, אך גם bio-inks ו-graphene).

צפון אמריקה מהווה את השוק הגאוגרפי הגדול ביותר עבור חומרי הדפסת תלת מימד בעוד אזור אסיה-פסיפיק הוא השוק הצומח במהירות הרבה ביותר. כתוצאה מכך, נתח השוק של אסיה-פסיפיק צפוי לעלות מ-32.7% לכמעט 37.2% בין 2017 ל-2023.

ענף חומרי ההדפסה התלת ממדיים מרוכז מאוד, כאשר רק ארבע חברות חולשות על כ-75% מהשוק. מובילי השוק הגנו והרחיבו את עמדות השוק שלהם באמצעות שורה של מיזוגים ורכישות.

היישומים הגדולים ביותר של חומרי הדפסת תלת מימד הינם במגזר הרפואה ורפואת השיניים, שמהווה 26.8% מכלל הצריכה העולמית בשנת 2017 כשהצפי הוא ל-29.8% בשנת 2023. ענף הרכב נמצא במקום השני, עם נתח של 19.5% והצפי הוא שב-2023 מוצרי צריכה יגיעו למקום השני עם נתח שוק של 21.4%.

10.11 תחום חומרים מורכבים להדפסת תלת מימד בישראל

10.11.1 תעשייה

נמצאו 13 חברות העוסקות בתחום של חומרים מורכבים להדפסה רב שלבית¹⁸⁸ בחיפוש במאגר של ה- Startup Nation Central Finder ועפ"י עבודות קודמות בנושא שנעשו במוסד נאמן (פורטונה ואחרים, 2019).

טבלה 27: רשימת החברות בתחום חומרים מורכבים להדפסת תלת מימד בישראל, מיון לפי גודל החברה

שם החברה	תגיות	שנת הקמה	שלב במימון	שלב המוצר	גודל החברה
Stratasys	Industrial-scale and Desktop 3D-printing Technology	1998	Public	Released	"500+"
Xjet	Additive Manufacturing of Ceramic and Metal Parts	2005	C+	Released	"51-200"
Nano Dimension	Additive Electronics Provider	2012	Public	Released	"51-200"
Polyram	Customized Thermoplastic Compound Manufacturer	1986	Public	Released	"51-200"
PV Nano Cell	Single-crystal Conductive Nano Inks	2009	Public	Released	"11-50"
Melodea	Cellulose Nanocrystals from Renewable Sources	2010	A	Beta	"11-50"
IO Tech Group	Laser-assisted 3D Printing	2016	Seed	Alpha	"1-10"
Polymertal	Hybrid Products Using Metals and Polymers	2013	A	Alpha	"1-10"
Creative IC3D	Additive Manufacturing for the Printed Electronics Industry	2015	Seed	R&D	"1-10"
PrintCB	Copper Inks for Manufacturing Printed Electronics	2016	Seed	R&D	"1-10"
Nanofabrica	3D Printing for Precision Manufacturing	2016	Seed	Beta	"1-10"
MASSIVit 3D*	Develops and manufacture solutions for large-format 3D printing, covering its hardware, software and materials aspects.	2013	Revenue Financed	Initial sales	"51-200"
LARGIX	Largix develops autonomous, robotic, large-scale 3D printers. Its "cold 3D printing" technology is based on polypropylene (PP) and polyethylene (PE)	2015	A	R&D	"1-10"
KANFIT3D**	The company produces high-quality metal parts for the aerospace, medical and dental	1986			"51-200"

¹⁸⁸ השאילתה שבדקה: (additive-manufacturing OR 3d- (new-materials OR materials OR composite-materials) And technology)

שם החברה	תגיות	שנת הקמה	שלב במימון	שלב המוצר	גודל החברה
	industries with an EOS M290 manufacturing machine based on Direct Metal Laser Sintering (DMLS). Kanfit offers hybrid manufacturing, which combines additive manufacturing with CNC machining, as well as SLA rapid prototyping.				

מקור: עיבוד של מוסד נאמן על נתוני Startup Nation Finder.
 *חברת MASSIVit 3D אין תגית של עיסוק בחומרים. עוסקת בחומרים להדפסת תלת מימד לפי עבודות שנעשו במוסד נאמן ולכן נוספה לרשימת החברות.

**כנפית תלת ממד. נוספה לרשימת החברות בעקבות ראיון עם ד"ר יפתח ניר

להלן מובא סיכום קצר לגבי חלק מהחברות, שנאספו לגביהן נתונים בראיונות שנערכו בעבודות קודמות שבוצעו ע"י מוסד נאמן (פורטונה ואחרים, 2019; גץ ואחרים, 2018).

חברת Xjet¹⁸⁹

חברת Xjet פיתחה טכנולוגיית ננו להדפסת תלת מימד במתכת ובחומרים קרמיים, שמבטיחה לשנות את תהליכי הייצור בתעשיות רבות. החברה הקימה בפארק המדע ברחובות, מרכז להדפסות תלת מימד במתכת וקרמיקה בטכנולוגיה שפיתחה, NanoParticle Jetting, המשתמשת בננו-חלקיקים בתרחיף נוזלי, לצורך הדפסת מוצרי תלת מימד ממתכת ומחומרים קרמיים בהזרקה בניגוד למערכות הדפסה אחרות המבוססות על שימוש באבקה. בטכנולוגיית ה-NanoParticle Jetting מיליון טיפות בשנייה מוזרקות על מנת לייצר שכבות דקות ולבנות חלק תלת מימדי. המערכת שולטת בהזרקה ובהשמה של כל טיפה, על מנת להביא לתוצאות מדויקות. המערכת בטוחה ביותר בשימוש ומאפשרת דיוק ומורכבות הדפסה. חומר ההדפסה מגיע במחסניות נטולות אבקה כך שניתן להפעיל את המדפסות גם בחללים משרדיים סגורים (התמיסות הנוזליות מכילות חלקיקי ננו מוצקים של מתכת ו/או של קרמיקה). ההשקעה במהלכי הפיתוח של Xjet, שהניבו לחברה מעל ל-80 פטנטים בתחומים שונים, מוערכת במעל ל-100 מיליון דולר בעשור האחרון. לדברי חנן גוטהייט, מייסד ומנכ"ל Xjet, הטכנולוגיה מהווה פריצת דרך בהדפסת תלת מימד במתכת ובקרמיקה, ומאפשרת ייצור מדויק של חלקים מורכבים מאוד ובעלי פרטים קטנים. בחודש שעבר הוענק לחברה על ידי חברת המחקר Frost & Sullivan, פרס חדשנות בינלאומי על פיתוח הטכנולוגיה. היכולת להדפיס בדיוק רב ובמספר חומרי גלם, הופך את המערכות של Xjet לאידיאליות עבור תעשיית הרכב, הרפואה ורפואת השיניים, התעופה והחלל. החברה חתמה על עסקאות בהיקף של מעל לעשרה מיליון דולר, לאספקת מערכות הדפסה מתוצרתה ללקוחות, מהמובילים בתחומם בארצות הברית, גרמניה, איטליה, שוויץ ובמדינות נוספות ואף בשוק הישראלי.

מודל עסקי

- מודל ההכנסות לטווח הארוך מבוסס על שילוב של מכירת מערכות וחומרים (the 'ink'). טכנולוגית הזרקת דיו דורשת ספציפיות והתאמה ייחודית של חומרים שנמכרים רק על ידי XJet.
- מערכת תעלה כ-700 \$ (ומשקלה כ-3 טון), עם תחזיות גידול מעשרות מערכות בשנים הראשונות למאות לאורך השנים.
- מכירת חומרים (the 'ink') יגדלו באופן אקספוננציאלי, כשמספר המערכות הנמצא בשימוש יגדל וככל שהנפח בכל מערכת שמותקנת יגדל.
- לאחר 5 שנים, מכירת החומרים צריכה לעלות על מכירת המערכות.
- ל- XJet כ-80 פטנטים שהוגשו או נרשמו בתחומים השונים.

חברת Stratasys

חברת סטרטסיס האמריקאית, מוזגה לפני כארבע שנים עם חברת אובג'ט הישראלית, ומזוהה מאז כחברה ישראלית. ההכנסות של סטרטסיס מורכבות ממכירת מדפסות, ומהכנסות חוזרות ממכירת חומרי הייצור כמו

¹⁸⁹ פורטונה, ג., ליבס, ע., נווה, ר., זוננשיין, א. (2019). מיפוי תעשיות ייצור מתקדם. מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית.

פלסטיק וניילון ("דיו" למדפסות התלת מימד), וכן משירותי תמיכה ותחזוקה למכונות. ההכנסות של סטרטסיס זינקו בין 2013 ל-2014 ב-55%, מ-484 ל-750 מיליון דולר, והיו ציפיות להמשך צמיחה בשיעורים של 40%–50% גם בשנים הבאות. במחצית השנייה של 2014 המניות של שתי החברות החלו לצנוח. סטרטסיס סיימה את 2015 עם ירידה של 8% בהכנסות ל-696 מיליון דולר. הירידה בהכנסות לוותה בהפסד עצום של 1.3 מיליארד דולר, לאחר שסטרטסיס מחקה מוניטין בסך מיליארד דולר בגין שתי רכישות שביצעה: אובג'ט הישראלית ויצרנית המדפסות הביתיות מייקרבוט. סטרטסיס משקיעה רבות בניסיון למצוא לקוחות חדשים בתחומים התעשייתיים במטרה לזהות את צרכי הלקוחות בתחומים כמו תעשייה וכלי רכב, ולהראות להם את היתרונות בשימושים במדפסת תלת מימד.

190 MASSIVit 3D

MASSIVit 3D מפתחת ומייצרת פתרונות להדפסת תלת מימד של משטחים גדולים מאוד, שכוללים היבטי חומרה, תוכנה וחומרים. בהתבסס על הפטנט שלה של טכנולוגיית Gel Dispensing Printing (GDP), מדפסת התלת מימד של החברה מאפשרת ייצור של אובייקט גודל, קל ועמיד למגוון יישומים בעלי נפח נמוך וערך גבוה. החברה מעסיקה כ-90 עובדים, שהפרופיל של רובם הינו בכימיה, תוכנה והנדסת מכונות. מרבית המו"פ בחברה מבוסס על תחומי הכימיה והתוכנה.

בעוד שמכירות החברה הן בעיקר בשוק הפרסום, ככל שחומרי הדפסה משתפרים, החברה בוחנת להציע יכולות ייצור למספר מוגבל של יישומים גדולים מאוד שכוללים בניית ספינות, רכבים, תעופה וחלל, מכשירים רפואיים, בנייה, ארכיטקטורה וייצור מבנים גדולים נוספים.

מוצרים/יישומים של החברה:

- מדפסת תלת מימד Massivit 1800 היא המוצר העיקרי של החברה, מהווה כלי מהיר ופשוט להפעלה וליצירת אובייקטים סופר-גדולים.
 - טכנולוגיה עם פטנט Gel Dispensing Printing (GDP)
 - נוהל תכנון ההדפסה כרוך גם הוא ברמה גבוהה של פיתוח ידע, שבאה לידי ביטוי ב-Massivit Smart proprietary software, המשמשת כהכנה להדפסת תלת מימד.
- השילוב של הטכנולוגיות הללו מאפשר ליצור 3D objects "hollow-shell" באיכות גבוהה, שצורכים פחות חומר מרוב מדפסות התלת מימד.

שיווק, פריסה ומודל עסקי:

- המודל העסקי של החברה מתוכנן כך שרוב ההכנסות מגיעות ממכירה של חומרים מתכלים שמזינים את המדפסות.
- תוכניות עתידיות כוללות ייצור מקומי של החומרה ושל חומרים מתכלים.
- ערוץ המכירות של MASSIVit 3D מבוסס על מפיצים המספקים גם שירות, רובם פועלים בתחום הדפוס.
- החברה מכרה למעלה ממאה מדפסות בטווח של בין 250 ל-350 אלף דולר למכונה, בעיקר לבתי דפוס דיגיטליים.
- MASSIVit 3D מעוניינת בשיתוף פעולה בתחומי החומרים והכימיה.
- אחד החסמים העיקריים שיש להתגבר עליהם הוא עלות חומרי הדפסה - השגת מחירים נמוכים יותר תסלול את הדרך להגדלת פוטנציאל הייצור. החברה משקיעה מאמצי מו"פ בחומרים חדשים ומשופרים בעלי עלויות טובות יותר, מאפיינים נוספים וטווח יישומים נוסף.
- כיעד ארוך טווח MASSIVit 3D, מעוניינת לצמוח ולהשיג מעמד כמובילה בשוק, כפי שהשיגה Stratasys.

PVnanocell

PVnanocell פיתחה דיו מוליך עדכני העומד בדרישות של יישומי דפוס דיגיטלי לייצור המוני מודפס עבור לקוחות ברחבי העולם, ומאפשר אלקטרוניקה חדשה (גמישה, מותאמת אישית, דקה יותר, קלה יותר, עיצובים חדשים).

¹⁹⁰ פורטונה, ג., ליבס, ע., נווה, ר., זוננשיין, א. (2019). מיפוי תעשיות ייצור מתקדם. מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית.

מוצרים/יישומים:

SicryTM - צבעי הדיו של Sicry מבוססים על טכנולוגיה חדשנית המאפשרת תהליכי הדפסת תלת מימד ביישומי ייצור המוני. התכונות הייחודיות של הדיו מבטיחות ביצועים מיטביים תוך הפחתת עלויות הייצור והשפעה סביבתית.

Nanometric Copper Solution - צבעי הנחושת המוליכים של Sicry הם פתרונות ננומטריים ייחודיים מבוססי נחושת שעושים שימוש במתכת נחושת ולא ב-precursors כמו תחמוצת נחושת על מנת לספק דיו בעלות נמוכה ויציבה.

NANOFABRICA¹⁹¹

החברה מפתחת מדפסת תלת מימד בעלת דיוק גבוהה לייצור המוני של חלקים קטנים. זו טכנולוגיה להדפסת תלת מימד בעלת דיוק רב, חסכון, מהירות וגמישות.

היישומים מגוונים: precise tooling attachments for the semiconductor industry, small and customized connector housings, complex heat sinks, diffractive optical elements, lenses and optical alignment jigs, ceramic substrates ועוד.

Nanofabrica שואפת להוביל את שוק הייצור הדיגיטלי המדויק באמצעות פיתוח של חומרי הדפסה מתקדמים נוספים ויכולות הדפסה עבור יישומים נוספים.

ניתוח השוק אליו מכוונת החברה:

יצור חלקים קטנים ומדויקים בהדפסת תלת מימד צפוי להגיע לכ-5% משוק הייצור הרלוונטי, מסתכם בסכום של 7 מיליארד דולר מכלל השוק. עם זאת, תהליכי הייצור הנוכחיים לחלקים קטנים הם איטיים, מורכבים ויקרים. בהשוואה לפתרונות המתחרים, Nanofabrica היא ייחודית ביכולתה לספק גם דיוק גבוה כמו וגם תפוקות גבוהות יותר, מה שהופך את הפיתרון שלה לאפשרי לייצור המוני.

החברה בוחרת כעת אתרי בטא למכונה התעשייתית הראשונה שלה ומבקשת לקיים אינטראקציה עם חברות באמצעות POCs, במיוחד באמצעות הדפסת חלקים, כך שחברות יכולות לבדוק ולהעריך את איכות החלקים המודפסים. המודל העסקי הוא של מכירות B2B של מכונות ושל חומרים מתכלים.

מוצרים/יישומים:

פיתרון ההדפסה של Nanofabrica מפתחת, מאופיין בדיוק גבוהה, בחיסכון בעלות, בסבבי ייצור קצרים (עד 5,000 חלקים), זמן ייצור מהיר ועיצוב גיאומטריות ללא גבולות.

שיפור של עד פי 50 ברמת הדיוק המושגת באמצעות אופטיקה מתקדמת מאפשר יישומים ושווקים חדשים. עלות חומרת ההדפסה הנמוכה בהשוואה לשיטות ייצור חליפיות, פותחת דלת לייצור בנפח ובתפוקה גבוהה.

חומרי ההדפסה הם ABS ופוליפרופילן, כמו גם חומרי קרמיקה בשלב מו"פ. שרפי ההדפסה הם חומרים שפוחו ב-Nanofabrica המאפשרים הדפסת תלת מימד ברזולוציה גבוהה במיוחד.

היישומים כוללים הדפסת כיורי קירור קרמיים מורכבים (המשמשים למשל לניהול תרמי מתקדם של אלקטרוניקה עדינה), אנטנות, גופי יישור אופטי (למשל מסגרות עלדשות ומסננים) וכן ביישומי מוליכים למחצה ומכשור רפואי.

LARGIX¹⁹²

החברה מפתחת מדפסות תלת מימד אוטונומיות, רובוטיות בקנה מידה גדול. במקום אב טיפוס נפוץ או יישומי מודל של הדפסת תלת מימד, הפיתרון של Largix מיועד לייצור מוצרים למשתמשי קצה. הטכנולוגיה שלה הנקראת "הדפסת תלת מימד קרה" מתבססת על פוליפרופילן (PP) ופוליאיתילן (PE) - שני החומרים הנפוצים ביותר בתחום הפלסטיק - כמו גם חומרי גלם חכמים משולבים בעלי תכונות ייחודיות.

¹⁹¹ פורטונה, ג., ליבס, ע., נווה, ר., זוננשיין, א. (2019). מיפוי תעשיות ייצור מתקדם. מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית.
¹⁹² פורטונה, ג., ליבס, ע., נווה, ר., זוננשיין, א. (2019). מיפוי תעשיות ייצור מתקדם. מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית.

Target verticals:

יצור של מיכלי אחסון כבדים; ענף הבנייה בהתאמה אישית, יצור מקלטים, גני שעשועים ואדריכלות עירונית; סקטור התעופה והרכב.

ניתוח השוק

העולם התעשייתי והמסחרי נע לכיוון יצור בהתאמה אישית ("lot-size-one"). כתוצאה מכך, האתגרים העומדים בפני היצרנים הם גמישות בתכנון ובביצוע, פרודוקטיביות של כוח האדם, תשתיות מתאימות, אי יעילות שקיימת בשרשרת האספקה ועלויות הייצור הכוללות. הפיתרון דורש ייצור חכם יותר - באמצעות הפחתה בעבודת כפיים והעלאת הפריזון, שרשרת אספקה קצרה יותר - דרך ייצור מקומי ומלאי קטן יותר ומוצר מתקדם - מבחינת מבנה ומשקל. הדפסת תלת מימד מציעה פתרון מסוג זה, עם הפחתת עלויות מוצר של כ- 50%. עם זאת, ייצור מוצרים בהדפסת תלת-מימד צריכה לעמוד בסטנדרט איכות, דברים שטכנולוגיות הדפסת תלת מימד מתקדמות בדרך כלל מתקשות בו בשל הקשר הבינשכבתי החלש. יתר על כן, PP / PE - תעשיית הפלסטי עוסקת בחומרים בשל תכונותיהם ועלותם- חומרים שבדרך כלל מתרחבים, מתכווצים ומתעוותים בתהליך ההיתוך, ולכן אינם משמשים להדפסת תלת מימד. לרג'יקס התגברה על אתגרים אלה באמצעות הטכנולוגיה הייחודית שלה "הדפסת תלת מימד קרה". ברחבי העולם נמכרים מדי שנה כ- 50,000 עד 60,000 מכונות הזרקת פלסטיק. לרג'יקס מעוניינת להשיג נתח בשוק זה.

מוצרים/ יישומים

במקום להשתמש באבקות או ג'לים, טכנולוגיית ההדפסה של Largix מבוססת על PP/ PE strings גמיש, אשר מוזנים דרך ¹⁹³ a heated die nozzle. השאיפה הטכנולוגית העתידית של החברה הינה לפתח גם מדפסת בהיקף קטן עם חומרי הדפסה מתקדמים.

Nano Dimension

החברה הוקמה בשנת 2012 ועוסקת בפיתוח מדפסות תלת-מימד מתקדמות לתחום האלקטרוניקה. מוצרי החברה הייחודיים משלבים שלוש טכנולוגיות מתקדמות: הזרקת דיו (INKJET) תוכנה לתלת מימד ונוני-חומרים. מוצריה העיקריים של החברה הם מדפסת תלת מימד להדפסת מעגלים אלקטרוניים מודפסים (קרטיסי PCB) רב שכבתיים, וכן מוצרי דיו מוליך ומבודד מבוססי ננוטכנולוגיה.

החברה זכתה ב-2017 במסגרת תוכנית מימד של הרשות הלאומית לחדשנות טכנולוגית, בתקציב למימון פרויקט פיתוח של הדפסה תלת ממדית של חומרים קרמיים מתקדמים בטכנולוגיית הזרקת דיו, בהיקף של עד 1.4 מיליון ש"ח. תכונות החוזק המכאני ורמת העמידות התרמית של רכיבים קרמיים הופכים אותם לרכיב קריטי המשמש לצרכים רבים ומגוונים בתעשיית התעופה והחלל. יחד עם זאת, הטכנולוגיות הזמינות עבור ייצור רכיבים קרמיים יקרות, דורשות משך זמן ארוך משלב התכנון ועד סיום ייצור הרכיב, ואינן תומכות בייצור מבנים מורכבים. הטכנולוגיה של ננו דיימנשן מאפשרת ייצור תלת ממדי מדויק, תוך שימוש במגוון חומרים בתהליך ייצור יחיד. שילוב קצב ייצור מהיר, רזולוציה הדפסה גבוהה ושילוב חומרים, מאפשר ייצור רכיבים בעלי תכונות מתקדמות לתעשיית התעופה והחלל. דוגמא לאחד מהיישומים הרבים של חומרים קרמיים בהדפסת תלת מימד, הינו שימוש בחומר קרמי כחומר המבודד המשמש להדפסת מעגלים אלקטרוניים. שימוש זה מהפכני, שכן תכונות הבידוד והחוזק המכאני של החומר הקרמי גבוהות יותר מהתכונות של החומרים הקיימים כיום בתעשיית המעגלים האלקטרוניים. חומר קרמי הינו חומר מוצק שאינו אורגני או מתכתי. התכונות המכניות של חומרים קרמיים קריטיות בבניית מבנים וביצירת טקסטיל. תכונות החומרים הקרמיים כוללות אלסטיות, פלסטיות, חוזק מתיחה, לחיצה וגזירה, ועוד.

כנפית תלת ממד

החברה נוסדה בשנת 1986 כבית מלאכה לכלים מרוכבים והיום מוכרת בארץ כאחת החברות המובילות בתחום קבלנות המשנה לתעשיית התעופה בישראל. כנפית הינה בין הספקים הגדולים ביותר של חלקי מבנה מטוס

¹⁹³ The multi-channel die melts the very skin layer of the strings (down to several dozen microns thick) with the majority of the mass remaining cold and unaffected; the base previous layer is preheated as well, and the two layers a bonded under pressure

המיוצרים ממתכת ומחומרים מרוכבים למטוס המנהלים, G280 החל מפריטים ראשוניים פשוטים ועד מכלולים והרכבות כמו דלתות כן נסע, לוחות מכשירים, מערכות זיוד תא הטייס, חיפויים חיצוניים ועד. כמן כן החברה הינה בין הספקים הגדולים ביותר של חלקי מבנה למטוסים ללא טייס, בעיקר מחומרים מרוכבים, לחטיבת מל"ט של התעשייה האווירית.

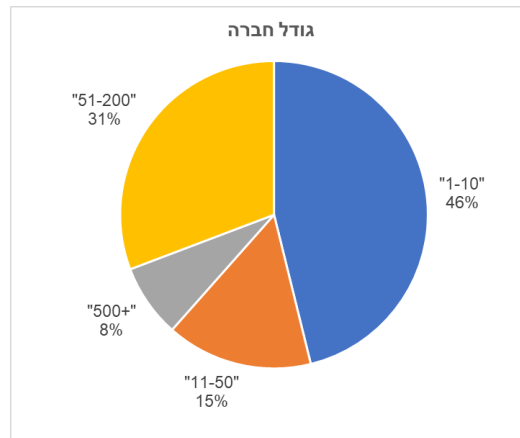
כנפית מייצרת חלקים ומכלולים מחומרים מרוכבים בטכנולוגיות מגוונות ומתקדמות. לכנפית יכולת פיתוח של מוצרים מסובכים ביותר משלב המודל הדיגיטלי ועד לשלב הייצור הסדרתי, דרך כל שלבי בניית אבי הטיפוס וכלי הייצור. החברה משקיעה משאבים גדולים במחקר ופיתוח של מוצרים וטכנולוגיות ייצור.

הדפסה תלת מימדית בטיטניום – טכנולוגיה חדשנית זו משמשת בעיקר לייצור חלקים מדויקים בתחום האווירונאוטיקה, החלל והרפואה. השימוש בטכנולוגיה זו מאפשר גמישות רבה כאשר למתכנן יש חופש הנדסי, כמעט בלתי מוגבל, תוך מתן אפשרות לשימוש במגוון רחב של חומרים שונים החל מטיטניום, טיטניום רפואי לשתלים, אלומיניום, פלדות שונות, נירוסטות מסוגים שונים ועוד.

גודל החברות:

מחצית מהחברות, הן חברות קטנות שיש בהן עד 10 עובדים. כשליש מהחברות בינוניות ומונות בין 50 ל-200 עובדים. חברה אחת גדולה- חברת סטרטסיס, מונה למעלה מ-500 עובדים.

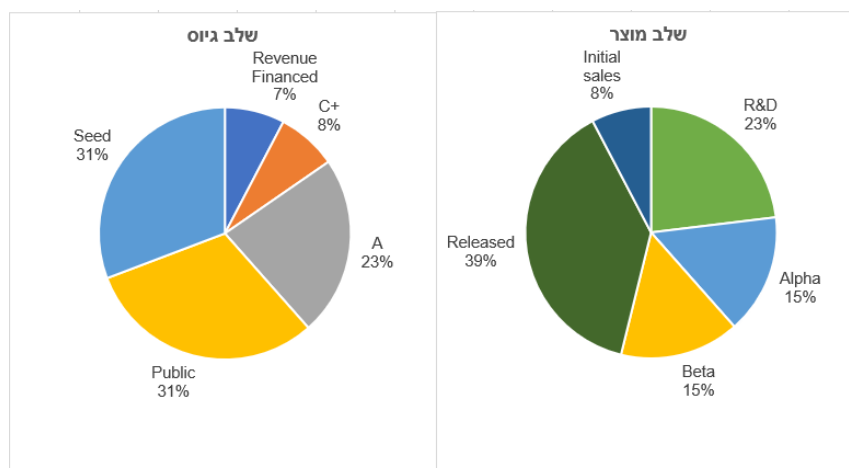
איור 53: גודל החברות לפי מספר העובדים בחברה



שלב מימון:

מטבע הדברים חלק גדול מהחברות נמצא בשלבים התחלתיים. מבחינת שלב המימון: 31% מהחברות בתחום נמצאות בשלב ה-seed ו-23% מהחברות נמצאות בסבב גיוס A. המוצר של 53% מהחברות הוא בשלבי טרום מוצר סופי (R&D, אלפא וביתא).

איור 54: חברות בתחום התלת מימד לפי Funding Stage (2018)



גיוסי הון

תשע מתוך 13 החברות גייסו הון בסך של כ- 195 מיליון דולר. כאשר חברת Xjet גייסה 101 מיליון דולר החל משנת 2014 בחמישה סבבים שכללו תשעה משקיעים. הסכום הגבוה ביותר- 45 מיליון דולר גויס בספטמבר 2019. גם חברת Nano Dimension גייסה 29.1 מיליון דולר בארבעה סבבים עם ארבעה משקיעים. בסבב האחרון בשנת 2019 גויסו 12 מיליון דולר. חברת MASSIVit 3D גייסה 28 מיליון דולר בסבב אחד.

טבלה 28: רשימת גיוסי הון לחברות נבחרות

מספר משקיעים	מספר סבבים	סה"כ (מיליון דולר)	חברה
9	5	101,000,000	Xjet
\$M45 - 2019 - השקעה של חברות סיניות - \$M25 - 2016 \$M22 - 2014 2011 - אין נתונים \$M9 2007			
4	4	29,100,000	Nano Dimension
\$M12 - 2019 \$M4 - 2017 \$M13.1 - 2015 \$K500 - 214			
		7,000,000	Melodea
\$M2017-7			
4	3	4,925,000	PV Nano Cell
K\$570 - 2018 - גרנט M\$1.275 2014 M\$3.65 2013			
1	2	2,100,000	Nanofabrica
\$M2018-2			
1	1	700,000	Creative IC3D
\$K700 - 2015			
		600,000	IO Tech Group
אין פרטים			
1	1	28,000,000	MASSIVit 3D
\$28M			
2	2	1,450,000	LARGIX
\$1.45M			
		194,875,000	סה"כ

מקור: עיבוד מוסד שמואל נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder ועבודה שנעשתה במוסד נאמן ע"י פורטונה ואחרים (2019).

10.11.2 אקדמיה ומכוני מחקר

מניתוח מדדים ביביליומטריים ומענקי המחקר בתחום, אין עדות למחקר משמעותי בהיקפו באוניברסיטאות בישראל בתחום 'חומרים מורכבים חכמים להדפסת תלת מימד' בהשוואה למדינות אחרות בעולם. ניתן לשער שהמחקר בתחום זה מתבצע במידה רבה בתעשייה, דבר הניכר גם בניתוח הפטנטים שערכנו וכן בשל אופיו האפליקטיבי. להלן דוגמאות לחוקרים נבחרים באקדמיה שקיימת זיקה בינם לבין התחום:

- **פרופ' שלמה מגדסי** – המכון לכימיה, ראש המרכז להדפסת תלת מימד האוניברסיטה העברית – המומחיות של פרופ' מגדסי היא חומרים לתלת מימד. לפרופ' מגדסי מספר פיתוחים בתחום החומרים להדפסת תלת מימד. לדוגמא - דיו להדפסה על זכוכית¹⁹⁴; הדפסות תלת-מימד של פולימרים בעלי זכרון צורני¹⁹⁵.
- **ד"ר אלכס קמישני** – חוקר בקבוצת המחקר של פרופ' שלמה מגדסי.

תחומי מחקר נוכחים: היווצרות ויציבות של חלקיקים אורגניים ואנאורגניים, חלקיקים מתכות ויישומם בדגש על ציפויים מוליכים ואלקטרוניקה מודפסת, חומרים אלקטרוכרומים.

¹⁹⁴ <https://www.facebook.com/thehebrewuniversity/photos/a.10150860868152571/10150860908687571/?type=1&heater>

¹⁹⁵ <http://science.huji.ac.il/he/3d-printing>

- **ד"ר מיכאל לאיאני** – חוקר בקבוצת המחקר של פרופ' שלמה מגדסי. ד"ר מיכאל לאיאני יחד עם ד"ר דינש פאטל פרסמו מאמר העוסק בהדפסה ישירה של מבנים מורכבים, המאפשרים מתיחה של עד 1100% מהמבנה המקורי מבלי להיקרע. לדוגמה: מבנים שונים כמו לחצנים מוליכי חשמל, מבנים הניתנים לניפוח כמו בלונים בצורות ייחודיות ותפסן גמיש כזרוע של רובוט¹⁹⁶.
- **עידו קופרשטיין** – תלמיד מחקר בקבוצת המחקר של פרופ' שלמה מגדסי. היה בצוות המחקר שבמסגרתו כימאים מהאוניברסיטה העברית פיתחו שיטה להדפיס גלים על בסיס מים להתקנים רפואיים, בלי צורך בהוספת ממסים רעילים. במחקר השתתפו ד"ר אמול אשוק פאוואר (Pawar), ד"ר לירז לרוש ותלמידי המחקר עידו קופרשטיין וגבי סעדה, ובשיתוף עם קבוצת המחקר של פרופ' נמג'ון צ'ו (Cho) מהאוניברסיטה הטכנולוגית של סינגפור (NTU). החוקרים כבר הגישו בקשה לרישום פטנט בארה"ב על הפיתוח, בשל הפוטנציאל הכלכלי הרחב שלו¹⁹⁷.
- **פרופ' אמיר סער**, המנהל האקדמי של המכון לננו-איפיון, המרכז לננו-מדע וננוטכנולוגיה באוניברסיטה העברית.
- **פרופ' כהן דניאל** - החוג העל-פקולטאי לביוטכנולוגיה באוניברסיטה העברית. פרופ' כהן פיתח סוג ייחודי של פולימר (חומר שנוצר מחיבור של מולקולות קטנות יותר) היוצר חסם פיזי בין שכבות של רקמות שנתחו ומונעים הידבקות של משטחי רקמה הבאים במגע זה עם זה.
- **פרופ' טל דביר** – פרופ' טל דביר מאוניברסיטת תל אביב הינו חבר סגל בבית הספר לביולוגיה מולקולרית של התא וביוטכנולוגיה, בפקולטה למדעי החיים, ובמחלקה למדע והנדסה של חומרים, בפקולטה להנדסה באוניברסיטת ת"א. קבוצת המחקר הבין-תחומית של פרופ' טל דביר מתמקדת במחקר ופיתוח טכנולוגיות המתבססות על חומרים מתקדמים ותאי גזע, על מנת להנדס ולשקם רקמות ואיברים פגועים. החוקרים בוחנים גישות וחומרים המשפיעים על התמיינות תאי גזע והתארגנות התאים לרקמות מתפקדות, ביניהן הלב, המוח, חוט השדרה, העיניים, המעי ועוד. בין הטכנולוגיות אותן מפתחים בקבוצת המחקר ניתן למצוא הדפסה תלת מימד של רקמות ואיברים, הנדסת רקמות משולבות אלקטרוניקה ופיתוח שתלים וחומרים המותאמים אישית לחולה. למחקר במעבדה פוטנציאל קליני רב, הצפוי לחולל שינוי בגישה הטיפולית במחלות הגורמות לפגיעה בלתי הפיכה באיברים השונים, ולהאריך ולשפר את איכות החיים¹⁹⁸.
- **Dr. Viacheslav Slesarenko** – ד"ר וויצ'סלב מהטכניון פרסם מאמר בנושא: failure in bio-inspired composite accepted in Smart Materials and Structures
- **פרופ' ענת פישר** – הפקולטה להנדסת-מכונות בטכניון. ביצעה מחקר משותף של חוקרים בכירים מהטכניון וממכון KIST בסיאול שבדרום קוריאה, שיאפשר בעתיד תכנון וייצור של רכיבים תלת מימדיים ומכשירים מורכבים באינטרנט.

מכון המתכות הישראלי

לפני כארבע שנים הוקם במכון המתכות שבטכניון, מרכז לקידום ופיתוח של טכנולוגיות הייצור בתלת מימד. לצורך קידום פעילות זו מופעלות במכון שתי מערכות ייצור מתקדמות למוצרי מתכת, הראשונה מבוססת על התכה בקרן אלקטרונים והשנייה מבוססת על התכה בקרן לייזר. במסגרת הרחבת הפעילות בתחום הייצור בתלת מימד הצטייד במערכת, המיועדת לייצור בתלת מימד של מוצרים קרמיים ושל רכיבים מתקדמים מחומרים מרוכבים (מבוססים על מערכת מתכת/קרמיקה). הצטיידות זו, שנתמכת בסיוע משמעותי של רשות החדשנות של משרד הכלכלה, תאפשר למכון המתכות לפתח תחום טכנולוגי מתקדם שיקדם את התעשייה הישראלית וימצב אותה בחזית הטכנולוגית העולמית.

המערכת שבה יצטייד המכון היא מתוצרת חברת ExOne (מדגם M-Flex) והיא מיועדת להדפסת אבקות וחלקיקים שונים (מתכתיים וקרמיים) בשיטת הזרקת קשרן (Binder). תחום הטכנולוגיה של יצור רכיבים מחומרים מרוכבים על בסיס מתכת-קרמיקה (CMC-Ceramic Matrix Composite) הוא תחום חדשני ברמה

¹⁹⁶ <https://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-4960644,00.html>

¹⁹⁷ <https://davidson.weizmann.ac.il/%D7%97%D7%93%D7%A9%D7%95%D7%AA-%D7%9E%D7%93%D7%A2%D7%98%D7%9B%D7%A0%D7%95%D7%9C%D7%95%D7%92%D7%99%D7%94-%D7%99%D7%A9%D7%A8%D7%90%D7%9C%D7%99%D7%AA-%D7%97%D7%93%D7%A9%D7%94-%D7%9E%D7%99%D7%99%D7%A2%D7%9C%D7%AA-%D7%94%D7%93%D7%A4%D7%A1%D7%95%D7%AA-%D7%AA%D7%9C%D7%AA-%D7%9E%D7%9E%D7%93-%D7%91%D7%9E%D7%99%D7%9D>

¹⁹⁸ <https://www.rappaport-prize.org.il/tal-dvir>

בין לאומית בכלל ובהדפסה תלת ממדית בפרט. הטכנולוגיה כוללת הדפסה תלת מימדית של רכיבים בעלי גיאומטריה מורכבת מאבקה קרמית (חומר ראשוני – גוף "ירוק") ולאחר מכן ביצוע תהליך החדרת מתכת נוזלית (אינפילטריצה) לתוך הגוף הירוק המודפס. על ידי שילוב טכנולוגיות של הדפסה תלת ממדית יפותח תחום חדשני ברמה עולמית אשר נחקר כיום במוסדות מחקר מובילים וטומן בחובו פוטנציאל טכנולוגי וכלכלי משמעותי. המדפסת החדשה מיועדת להדפסה של חומרים מרכיבים כגון Tungsten Carbide, Silicon Carbide, Alumina, Cerabeads, Zirconia.

מאגד עתיד לפיתוח טכנולוגיות להדפסה תלת מימדית של מבני תעופה¹⁹⁹ - AATiD - Advanced Additive Titanium Development –

המאגד הוקם בשנת 2015 בתמיכת רשות החדשנות, במטרה לפתח טכנולוגיות מתקדמות לעיצוב והדפסה תלת מימד של מבני אויר מורכבים עשויים מסגסוגות טיטניום. המאגד כולל חברות מובילות כגון התעשייה האווירית, אלביט מערכות-סאיקלון, תע"ש, אורביט, (ORBIT Communication Systems) אלגת, CAS- לצד קבוצות מחקר מהטכניון, אוניברסיטת תל אביב, אוניברסיטת בן גוריון ומכללת אפקה להנדסה. הטכנולוגיות השונות בהן יעסוק המאגד, כוללות טכנולוגיות תכנון מבנים, חומרים, הדפסה וחיבור של חלקים מודפסים. **ליאור זילברמן**, מנהל מו"פ באלביט מערכות-סאיקלון טוען שקיים צורך דחוף בקידום הנושא בתעשייה הישראלית מכיוון ששוק מבני הטיטניום המודפסים צפוי לצמוח במעל 30% בשנים הקרובות. זאת עקב הפוטנציאל הגבוה הטמון בה לענות לדרישות העתיד של שוק התעופה.

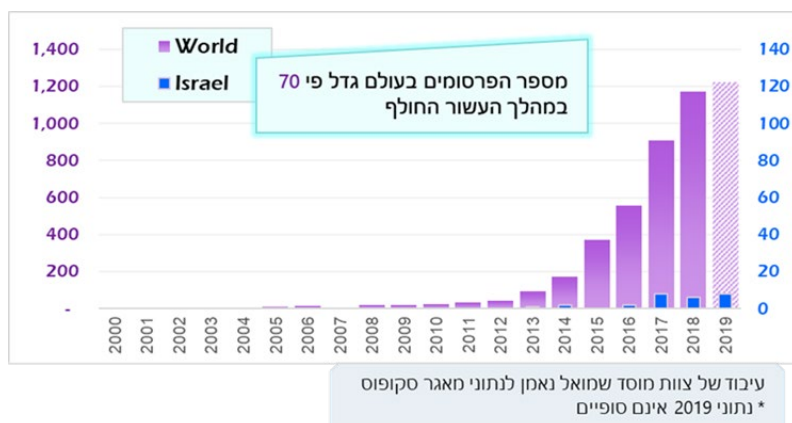
באירוע שקיים המאגד, הודגשה חשיבות קידום הנושא בתעשייה הישראלית לאור כניסת חברות עולמיות לתחום. למשל, איירבוס (Airbus) שפרסמה כי הצליחה להפחית את משקלו של פריט מבני במטוס אזרחי בכ-60% בעזרת הדפסה תלת מימד. בשלושת החודשים האחרונים נכנסו לשוק הייצור בתלת מימד חברות מולטי-דיספלינאריות נוספות, דוגמת רולס רויס (Rolls Royce). המאגד משלב התמחויות וידע של גופים שונים בכדי לשפר את האטרקטיביות של התעשייה הישראלית.

טכנולוגיית הדפסת התלת מימד תאפשר לייצר מבני תעופה קלים, חזקים וזולים. אלביט מערכות-סאיקלון היא שיזמה הקמת המאגד במטרה לקדם פיתוח משותף של טכנולוגיות גנריות להדפסה תלת מימד של מבני תעופה מטיטניום.

10.11.3 מדדים ביבליומטריים²⁰⁰

מספר הפרסומים בתחום חומרים מורכבים חכמים להדפסת תלת מימד בעולם, גדל פי 70 במהלך העשור החולף. המאמרים הישראלים בנושא החלו בשנת 2014, מספרם מועט והם היוו 0.6% מפרסומי העולם. ישראל מדורגת במקום ה-34 בהשוואה בינלאומית.

איור 55: השינוי במספר הפרסומים בתחום חומרים מורכבים בישראל יחסית לעולם, 2000-2018

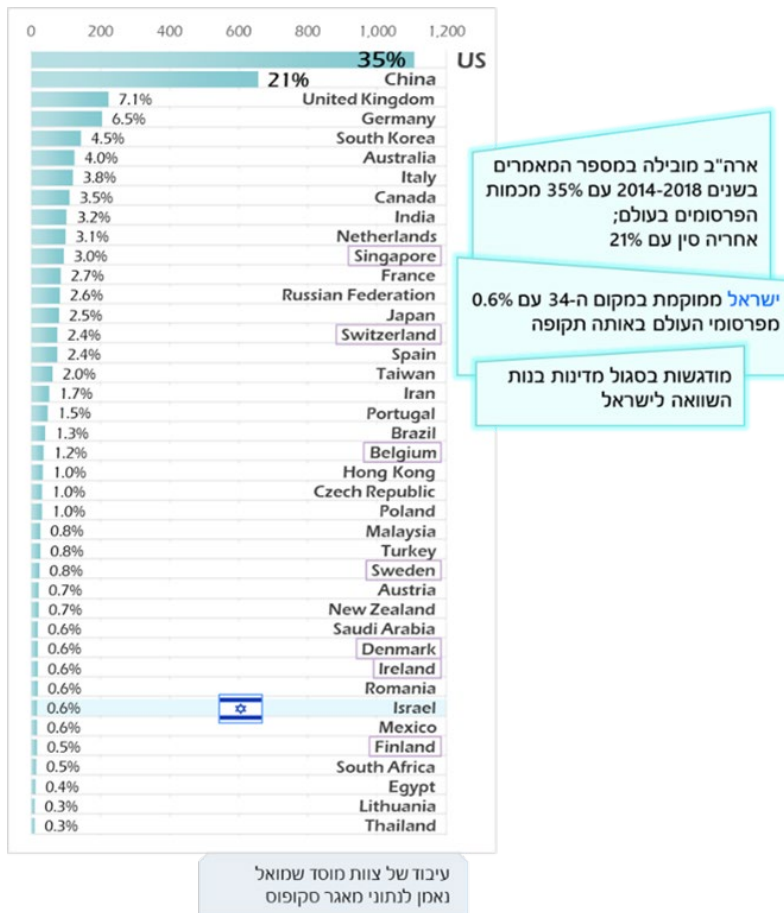


¹⁹⁹ <https://www.pc.co.il/news/189706/>

²⁰⁰ Your query : ((TITLE-ABS-KEY("programmable materials" OR "Intelligent Materials" OR "Smart Materials" OR "Advanced Materials" OR "Composite Materials" OR "Biological Materials" OR Biomaterial OR "digital materials" OR "sophisticated materials" OR Metamaterial*) AND ALL("3D Printing" OR "4D Printing" OR "5D Printing" OR "3d printer")))

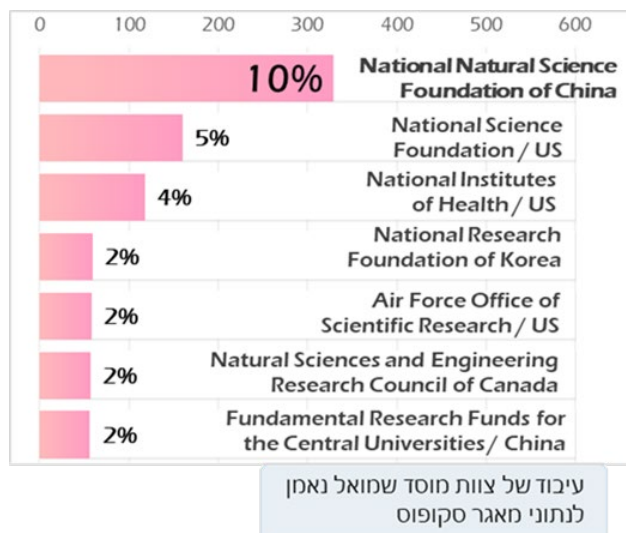
ארה"ב, מובילה עם 35% מכמות הפרסומים בעולם. ניתן לראות את ההשפעה של סין שנמצאת במקום השני במספר הפרסומים בעולם שמהווה 21% מהם באותה תקופה.

איור 56: דירוג המדינות בתחום Advanced Materials לפי מספר הפרסומים בשנים 2014-2018



האיור הבא מציג את גופי המימון המובילים בעולם למחקר האקדמי. הקרן הלאומית הסינית למדע (National Science Foundation China) בולטת במספר המאמרים הממונים, 10% מסך המאמרים בתחום בתקופה. שאר הגופים הממנים שיעורם נמוך יותר ועומד על לא יותר מ-5%.

איור 57: גופי המימון המובילים לפי מספר המאמרים שפורסמו בתחום Advanced Materials בשנים 2014-2018



10.11.4 בקשות לפטנטים

בין השנים 2014-2019 הוגשו ב-USPTO שש בקשות לפטנט בתחום החומרים המורכבים בהדפסת תלת מימד על ידי מגישים ישראלים. המגישים המובילים הם חברת XJET עם שלוש בקשות לפטנט והחברות Nano Dimension, PVnanocell ו-Polymertal עם בקשה אחת לפטנט כל אחת. כמו כן, בין השנים 2014-2019 הוגשו שמונה בקשות PCT בתחום זה, כאשר המגישים המובילים היו Nano Dimension עם חמש בקשות לפטנט IO Tech Group עם שתי בקשות ו Melodea עם בקשה אחת.

שתי בקשות נוספות לפטנט הוגשו בשנת 2016 על ידי חברות ישראליות ברשות הפטנטים הישראלית. שתי הבקשות הן של חברת Melodea. אחד הפטנטים הוא בקשה משותפת עם האוניברסיטה העברית.

10.11.5 מענקי מחקר

נסקרו שש הגופים העיקריים מהם מקבלים חוקרי ישראל מענקי מחקר. נסקרו כל מענקי המחקר המתוארים באתר הרלוונטי, בכל השנים עבורן יש נתונים²⁰¹.

טבלה 29: מענקי מחקר בתחום חומרים מורכבים חכמים להדפסת תלת מימד

Foundation	For Years	No. of relevant Grants
ERC (European Research Council)	2007 – 2019	4
BARD (US-ISRAEL BINATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH AND DEVELOPMENT FUND)	2016 – 2019	0
GIF (The German Israeli Foundation for Scientific Research and Development)	2011 – 2018	0
BIRD (Binational Industrial Research and Development) Foundation	1988 – 2019	0
ISF (Israel Science Foundation)	1991 – 2019	6
BSF (U.S.-Israel Binational Science Foundation)	1997 – 2019	1
Total		11

מספר המענקים שנמצאו הוא נמוך, בעיקר בהתחשב בכך שזהו מספר רב-שנתי (לאורך תקופות של מספר שנים) ואינו אחיד עבור כל הקרנות. פרוט המענקים שנמצאו בחמשת הקרנות מופיע בנספח א.

10.12 סיכום מסקנות ותובנות

תעשייה: בישראל פועלות כ-13 חברות שעוסקות בתחום של חומרים מורכבים להדפסת תלת מימד. תשע מתוכן גייסו הון בסך של כ-195 מיליון דולר. החברות בישראל פיתחו טכנולוגיות המתבססות על מגוון חומרים: Xjet מתמחה במתכת וחומרים קרמיים. הטכנולוגיה שפיתחה החברה NanoParticle Jetting, משתמשת בנו-חלקיקים בתרחיף נוזלי. MASSIVit 3D פיתחה את טכנולוגיית Gel Dispensing Printing (GDP), שמאפשרת הדפסת אובייקטים גדולים. PVnanocell פיתחה דיו מוליך Sicry's™. צבעי הנחושת המוליכים של Sicry's -Nanometric Copper Solution- הם פתרונות ננומטריים ייחודיים מבוססי נחושת שעושים שימוש במתכת נחושת ולא ב-precursors כמו תחמוצת נחושת על מנת לספק דיו בעלות נמוכה ויציבה. NANOFABRICA פיתחה טכנולוגיה להדפסת תלת מימד שמשמשת ב-ABS ופוליפרופילן וחומרי קרמיקה. הטכנולוגיה של LARGIX "הדפסת תלת מימד קרה" מתבססת על פוליפרופילן (PP) ופוליאתילן (PE). המוצר של 53% מהחברות הוא בשלבי טרום מוצר סופי (R&D, אלפא וביתא). פעילות החברות ניכרת גם בהגשת בקשות לרישום פטנטים.

²⁰¹ הסריקה נעשתה על ידי מילות החיפוש "programmable materials" OR "Intelligent Materials" OR "Smart Materials" OR "Advanced Materials" OR "Composite Materials" OR "Biological Materials" OR Biomaterial OR "digital materials" OR "sophisticated materials" OR Metamaterial*) AND ALL("3D Printing" OR "4D Printing" OR "5D Printing" OR "3d printer"))

במכון המתכות נעשות עבודות במגוון חומרים מתקדמים להדפסת תלת ממד ובקרוב ירכוש מכשיר שמייצר אבקה, דבר שקיים במספר מועט של מדינות.

אקדמיה: המחקר באקדמיה בתחום זה מתבצע ע"י חוקרים בטכניון, באוניברסיטה העברית, אוניברסיטת ת"א, אוניברסיטת בן גוריון ומכון וייצמן למדע.

11 חוקרים קיבלו מענקי מחקר מקרנות מחקר מובילות (ERC, ISF, BSF) על מחקרם בתחום בשנים 2015-2019.

הגידול במספר הפרסומים בתחום של חוקרים מישראל יחסית לעולם עדיין נמוך. מספר הפרסומים בתחום גדל פי 70 במהלך העשור החולף. המאמרים הישראלים בנושא החלו בשנת 2014, מספרם מועט והם היוו 0.6% מפרסומי העולם. ישראל מדורגת במקום ה-34 בהשוואה בינלאומית של מספר הפרסומים.

שיתוף פעולה אקדמיה-תעשייה מתבצע במסגרת מאגד עתיד לפיתוח טכנולוגיות להדפסה תלת מימדית של מבני תעופה.

חסמים/נקודות חולשה: המחסום העיקרי של ישראל, זה שחלק גדול מהעשייה בתחום נעשיית בתעשייה הביטחונית: אלביט, רפאל, תעשייה אווירית ואז אין גישה ואין צפי ובד"כ לא יעשו יצוא של החלקים האלה וזה חיסרון מבחינת גודל השוק.

הדפסת תלת ממד לתחום רפואי: שתלים, עצם בריח, של רקמות רכות, הדפסת כליה, החסם הוא שיש בתי חולים בעולם שהרבה יותר מתקדמים בתחום זה מישראל. למרות זאת, זוהי נישה שכדאי להשקיע בה לפי ד"ר יפתח ניר. בנושא הרפואי בד"כ צריך להדפיס בכל פעם חלק בודד ולכן כדאי להתמקד בו. התמקדות בתחום זה תכתיב התמקדות בחומרים שמוגדרים כביו ומתאימים לרקמות בגוף, כגון טיטניום וחומרים נוספים.

לסיכום, קיים בארץ פוטנציאל בתחום זה באקדמיה, בתעשייה ובמכון המתכות. ההתפתחויות בתחום הזה בעולם מאוד מהירות וחברות ענק משקיעות בו סכומים גדולים מאוד. ההמלצה של ד"ר יפתח ניר 'זה כיוון שצריך לרוץ בו הכי מהר שאפשר'.

10.13.1 נספח א – סיכום ראיון עם ד"ר יפתח ניר

בודק מקצועי ברשות החדשנות.

תאריך: 29.12.19

מראיינות: ורד גלעד וציפי בוכניק

יפתח מציע לשנות את שם הנושא ל'חומרים מתקדמים להדפסת תלת מימד' במקום חומרים מורכבים, היות שחומר מורכב הוא חומר המורכב מרכיבים ששומרים על התכונות שלהם ואנו בעבודה הנוכחית עוסקים גם בחומרים שמשנים את תכונותיהם.

במכון המתכות יש שלוש מדפסות. שתיים למתכות ואחת Binder jet שיכולה להדפיס גם בחומרים מורכבים. משתמשים באבקה של חומר קרמי- סיליקון קרביד או חומרים אחרים שמסוגלים לעמוד בטמפרטורות מאוד גבוהות (נעשה בהם שימוש למשל בחלליות של נאסא שצריכות לעמוד בתנאים קיצוניים). חומרים קרמיים מצוינים בזה אך מאוד שבירים ויש גם בעיות בתכונות המכניות שלהם.

התהליך עצמו משנה את התכונות של החומר. להבים של מטוסי סילון למשל צריכים לעמוד בתנאי טמפרטורה ולחץ קיצוניים. יש הבדל אם עושים את הלהב ביציקה או בהדפסה, התכונות תהיינה שונות לגמרי. התהליך של הדפסת תלת ממד נותן לחומר תכונות אחרות לגמרי מאשר בתהליכים אחרים.

היתרון הגדול ביותר של הדפסת תלת ממד הינו האפשרות לעשות צורות גאומטריות כמעט ללא מגבלה. דבר שנכון לכל החומרים שבשימוש בהדפסת תלת ממד. יתרון נוסף זה חיסכון בחומר ב-AM מוסיפים חומר ולכן יש צורך בפחות חומר גלם מאשר ביציקה, כי יש פחות פסולת. אפשר במסוק למשל, להדפיס תיקון רק במקום שנשבר כמו שעושים בסתימה של שיניים. החיסרון הגדול ביותר הוא שזה תהליך הרבה יותר איטי מתהליכים קונבנציונאליים.

עושים היום גשר בהדפסת תלת ממד. מתאים כשלא צריך כמות גדולה של חלקים. למשל שחזור עצם בריח ע"י טיטניום. מצלמים את עצם הבריח, הופכים לקובץ, מכניסים למדפסת והיא מוציאה עצם בריח חדשה שעשויה מטיטניום ואולי מרקמה אנושית בשיטה של הדפסה.

זה תחום שכל יום יש בו שינויים והתפתחויות. כשהתחילו את מאגד עתיד נעשה סקר שוק רחב. במידה ואפשר להשתמש בו יש שם סקר ספרות רחב בנושא.

פולימרים מתחלקים לשתי משפחות. תרמוסטים ותרמופולסטים. למשל צמיג מכנית חומר תרמוסטי כשמנסים להתיר אין אפשרות. אי אפשר למחזר. אותו דבר בחומרים יותר מתקדמים כמו אפוקסי, שקעי חשמל שצריכים לעמוד בטמפ' גבוהות, אי אפשר למחזר אותם. והקבוצה השנייה זה תרמופולסטים- למשל בקבוקים שזורקים למחזור, אפשר להחזיר למצב נוזל.

בהדפסת תלת ממד זה חשוב. ההדפסות הראשונות היו של חומרים תרמוסטים. לצורך הרחבה בנושא כדאי לדבר עם מרכז הפלסטיקה ומכון המתכות.

חברת Airbus קנתה מספר חברות שמייצרות מדפסות תלת ממד מכיוון שהם רוצים להכניס במטוסים שלהם יותר חלקים מודפסים, היות וזה מאפשר להכניס חלקים העשויים מחומר במשקל נמוך יותר, שזו תכונה חשובה מאוד בתעופה. יש בחברות האלה חיסיון על התחום.

היתרון של ישראל בתחום:

היתרון הגדול של ישראל זה המוח היהודי. למרות שאין בישראל תעשיית רכב, רוב המכוניות משתמשות במוביליי שיוצר בישראל.

מבחינת תעשייה יש חברות להדפסת אלומיניום לאופטיקה, צרכי ביטחון ועוד. המטרה להשתמש בפחות חומר גלם ולעשות גאומטריות יותר מורכבות.

מכון המתכות בקרוב ירכוש מכשיר שמייצר אבקה. לא עושים את זה בארץ וגם בעולם נעשה במקומות מסוימים בלבד. יש ערך מוסף רב לעשות את זה בארץ. זה יהיה הרבה יותר זול ואפשר יהיה לפתח חומרים שייחודיים לנו.

בישראל יש חברות שפיתחו חומרים להדפסת תלת ממד. הדפסה של חומרים מורכבים. למשל דיו מוליך-דיו בעצמו לא מוליך. הוא נוזל, מוסיפים לו nano particle שמוליכים וכך יוצרים רצף בדיו שהופך אותו למוליך.

מעגל מודפס יש חלקים וביניהם הלחמות מבדיל. כל הזמן רוצים שהטלפון הסלולארי יהיה יותר קל, המחשב יהיה יותר קל. להוריד את משקל המכשירים ואחת השיטות זה לעשות דיו מוליך. פס מדיו שיהיה דק ואם יוליך חשמל כמו שצריך יכול להוות פתרון.

רואים פוטנציאל של חברות שמפתחות חומרים לתחום.

המצב באקדמיה: הרבה חוקרים עוסקים בזה. כל אחד בתחום אחר. יפתח בדק כמה מוסדות מחקר שעוסקים בהדפסת תלת ממד.

מכון המתכות ומרכז הפלסטיקה הם בחלקם אקדמים. הרמה בהחלט טובה. יש המון ידע בארץ.

מעבר ידע מהאקדמיה לתעשייה: מאגד עתיד. היו חוקרים מאפקה, בן גוריון, מהטכניון ומעוד מוסדות. עסק במתכות.

נקודות חלשות:

בישראל לא מיצרים רכב. מייצרים חלקים לרכבים. יש תעשיית תעופה בארץ כולל מזל"טים וכדו': תעשייה אווירית, אלביט.

המחסום העיקרי של ישראל, זה שחלק גדול נעשה בתעשייה הביטחונית: אלביט, רפאל, תעשייה אווירית ואז אין גישה ואין צפי ובד"כ לא יעשו יצוא של החלקים האלה וזה חיסרון מבחינת גודל השוק. ברפאל יש כבר די הרבה שנים מדפסות וחומרים למדפסות. באלביט יש בתעשייה האווירית יש. זה ברמות של פיילוט.

הדפסת תלת ממד לתחום רפואי: שתלים, עצם בריח, של רקמות רכות, הדפסת כליה. בתחום הזה יש חסם מסוים כי יש בתי חולים בעולם שהרבה יותר מתקדמים בתחום זה.

חברת כנפית תלת ממד עוסקת בכך.

ברפואה צריך מפרק ייחודי לכל אדם ואז הדפסת תלת ממד קלאסית. מצלמים מרפק, מכניסים כקובץ למחשב והמדפסת מדפיסה.

האם יש לישראל יתרון יחסית לעולם?

יש משהו בחוצפה הישראלית שמעיזים לעשות דברים שאחרים לא עושים.

האם כדאי לרשות החדשנות להשקיע בתחום?

מדפסת מסוימת יכולה להדפיס חומרים שונים אבל כל חומר הוא עולם בפני עצמו. אלומיניום זה לא פליז, ופליז זה לא פלבם (פלדה בלתי מחלידה), כשאדפיס אותם התכונות תהינה לגמרי שונות וצריך ללמוד מה מהירות הקרן ומה צריכה להיות הזווית של החלקים בייצור. צריך לשים תמיכות ותמיכות בכל חומר שונות

הדפסה בחומרים שונים, תביא לתכונות שונות לגמרי וצריך ללמוד את זה.

לדעת יפתח 'זה כיוון שצריך לרוץ בו הכי מהר שאפשר כדי להישאר במקום'.

האם אפשר להמליץ באיזה נישות, באיזה חומרים בתוך התחום כדאי להתמקד?

יפתח עונה "גם וגם וגם". בנושא הרפואי בד"כ צריך להדפיס חלק בודד ולכן כדאי להתמקד בו. אם מתמקדים בתחום הרפואי, יש חומרים שמוגדרים כביו ומתאימים לרקמות בגוף. טיטניום ועוד.

איפה ישראל יחסית לעולם בתחום? לא יודע איך ישראל בהשוואה למדינות אחרות. אם מדינת ישראל לא תרוץ עם זה קדימה, נישאר מאחור.

ההשקעה כיום בתחום מבחינת כספים מאוד נמוכה.

חברת כנפית, חברת טוביה שרון, אלביט, רפאל, תעשייה אוירית. לא יודע אם יש עוד מדפסות למתכת. חברות כמו איירבס משקיעות בתחום השקעות מטורפות.

סטרטסיס בארץ חברה בסדר גודל עולמי. החברות הקטנות עושות השקעות פרטיות.

ייצור אבקה זה תשתית מאוד חשובה. הכרחי להשקיע בזה לדעתו.

חשובה גם המעטפת. למשל ציפויים או טיפולי שטח. כשמוציאים חלק מודפס ועושים לו עיבוד. למשל יצור בוכענה חלקה. במאגד עתיד היו תעשיות מסוימות שלא מדפיסות אך נותנות טיפולי המשך למשל ציפויים של טיטניום, נגד שחיקה, ריתוכים של להבים של טורבינות של מטוסים שצריך להיות אמין ומדויק. זה לא רק הדפסה חשוב גם ההמשך.

במטוס חלקי המעטפת מחוברים עם ניטים וברגים. באים מדפיסים ומציעים לייצר חלק אחד שנותן את כל הצורה של החלק בלי ברגים וניטים. מקבלים חומר רציף עם תכונות רציפות. למשל הגה גובה, חלקים נושאי עומס במטוס-חייב להיות אמין ולכן ייקח עוד זמן. העובדה שאיירבס ובואינג משקיעות בזה כספים, כנראה שהן רואות בזה עתיד.

10.13.2 מענקי מחקר בתחומי חומרים מורכבים חכמים להדפסת תלת מימד Advanced Materials for 3D Printing

ERC – European Research Council – 1-3 M Euro for a 3-year grant

Year	Researcher	Institute	Title	Total
2019	Shulamit Levenberg	Technion	Engineering Composite Tissues for Facial Reconstruction	2 375 000 €
2017	Taleb Mokari	BGU	Hierarchical Inorganic Nanomaterials as Next Generation Catalysts and Filters	150 000 €
2018	Lior GEPSTEIN	Technion	Combining induced pluripotent stem cells, tissue engineering, optogenetic and chemogenetic concepts for the study and treatment of atrial fibrillation	1 988 750 €
2018	Josue Sznitman	Technion	Liquid Foam Therapy (LIFT) for Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS)	150 000 €

BSF

2016	Rudykh Stephan	Technion	Elastic Wave Propagation in Soft Materials: Analysis, Simulations, and Experiments	\$32999
------	----------------	----------	--	---------

ISF- Israel Science Foundation (200-300,000 NIS a year, for 3 years grant)

Year (1991 – 2019)	Researcher	Institute	Title	Total
2016	Daniel Cohn	HUJI	3D Printed Reverse Thermo-Responsive Biomedical Architectures: From Molecular Design to Performance	
2018	Gershon Elber	Technion	Volumetric Modeling: Design, Analysis, and Manufacturing	
2019	Jacob Yasha Grobman	Technion	Bio composite materials in design: developing 3D printing methods for fungal mycelium-based materials	
2016	Eli Jerby	TAU	Localized Microwave-Heating (LMH) Effects in Solids, Powders and Plasma – A Paradigmatic View.	
2009	Jacob Sagiv Rivka Maoz	Weizmann	Contact Electrochemical Pattern Generation: Bottom-Up Nanofabrication Goes from Serial to Parallel	
2015	Mark Schwartzman	BGU	Templated Organization of 1D Nanostructures	

10.13.3 רשימת בקשות לפטנטים

Title	Application Year	Inventor(s)	Applicants
PCT			
ANTIMICROBIAL COATING MATERIAL COMPRISING NANOCRYSTALLINE CELLULOSE AND MAGNESIUM OXIDE AND METHOD OF PREPARATION THEREOF	2018	HANUKA EZRA [IL] ZOLKOV CHEN [IL] NEVO YUVAL [IL] AZERAFF CLARITE [IL]	IMI TAMI INSTITUTE FOR RES AND DEVELOPMENT LTD [IL] MELODEA LTD [IL]
LASER-BASED DROPLET ARRAY JETTING OF HIGH VISCOUS MATERIALS	2019	ZENOU MICHAEL [GB] GALAN ZIV [GB]	IO TECH GROUP LTD [GB] ZENOU MICHAEL [IL]
MULTI-MATERIAL DISPENSING AND COATING SYSTEMS	2019	ZENOU MICHAEL [GB] GILAN ZIV [GB]	IO TECH GROUP LTD [GB] ZENOU MICHAEL [IL]
COMPOSITE COMPONENT FABRICATION USING INKJET PRINTING	2017	FIMA SHARON [IL] ELIMELECH HILA [IL]	NANO DIMENSION TECH LTD [IL] THE IP LAW FIRM OF GUY LEVI LLC [US]
FLOCCULATES OF METALLIC, GEOMETRICALLY DISCRETE NANOPARTICLES COMPOSITIONS AND METHODS OF FORMING THE SAME	2017	YEDIDYA LIOR [IL]	NANO DIMENSION TECH LTD [IL] THE IP LAW FIRM OF GUY LEVI LLC [US]
INKJET PRINTING OF THREE-DIMENSIONAL CERAMIC PATTERN	2019	ELIMELECH HILA [IL] YEDIDYA LIOR [IL]	NANO DIMENSION TECH LTD [IL] THE IP LAW FIRM OF GUY LEVI LLC [US]
METHODS AND LIBRARIES FOR USE IN INKJET BIOPRINTING OF BIOSTRUCTURES	2017		NANO DIMENSION TECH LTD [IL] THE IP LAW FIRM OF GUY LEVI LLC [US]
METALLIC, GEOMETRICALLY DISCRETE NANOPARTICLE COMPOSITION AND METHODS OF FORMING THE SAME	2016		NANO-DIMENSION TECH LTD [IL] THE IP LAW FIRM OF GUY LEVI LLC [US]
USPTO			
SUSPENSION POLYMERIZATION COMPOSITIONS, METHODS AND USES THEREOF	2017	ELIMELECH HILA [IL]	NANO DIMENSION TECH LTD [IL] NANO DIMENSION TECH LTD [IL]
STABLE DISPERSIONS OF MONOCRYSTALLINE NANOMETRIC SILVER PARTICLES	2017	DE LA VEGA FERNANDO [IL] SHTER BAR JOSHUA GANIT [IL] MELAMED SEMYON [IL] GEVA REUVEN [IL] LINK MOSHE [IL]	P V NANO CELL LTD [IL]

Treatment of Polymeric Surfaces of Objects	2014	SHPIRO ZEEV [IL] BOLCHTIANSKI NATALIA [IL]	POLYMERTAL LTD [IL]
METHOD AND DEVICE FOR PRINTING ON HEATED SUBSTRATES	2019	KRITCHMAN ELIAHU M [IL] GOTHAIT HANAN [IL] ROZVAL YIGAL [IL] DEBI MEIR [IL]	XJET LTD [IL]
METHOD AND SYSTEM FOR APPLYING MATERIALS ON A SUBSTRATE	2018	DOVRAT MICHAEL [IL] PELEG RAN ASHER [IL] HADAR AMIR [IL] GOTHAIT HANAN [IL]	XJET LTD [IL]
TITANIUM INKS, METHODS OF MAKING AND USING THE SAME TO MAKE TITANIUM ARTICLES	2016	BENICHOU AXEL [IL] RÜHLE SVEN [IL] AQUA TALI [IL]	XJET LTD [IL]
ILPO			
Nanocrystalline cellulose as absorbent and encapsulation material	2016		MELODEA LTD [IL]
Porous nanocrystalline cellulose structure	2016		YISSUM RES DEV CO OF HEBREW UNIV JERUSALEM LTD [IL] MELODEA LTD [IL]

BCC Research. (2018). **Advanced Materials for 3D Printing: Technologies and Global Markets**. Report Code: AVM101C.

Franchin, G., Wahl, L., Colombo, P. (2017). Direct ink writing of ceramic matrix composite structures, **Journal of the American Ceramic Society**, **100**(10), 4397–4401.

Zhangwei, C., Ziyong, L., Junjie, L., Chengbo, L., Changshi, L., Yuelong, F., Changyong, L., Yang, Li, Pei, W., Yi, He. (2019). 3D Printing of Ceramics: A review. **Journal of the European Ceramic Society**, **39**, 661-687.

גץ, ד., בוכניק, צ., גלעד, ו. (2019). **תחזיות טכנולוגיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי**. מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית. הטכניון.

פורטונה, ג., ליבס, ע., נווה, ר., זוננשיין, א. (2019). **מיפוי תעשיות ייצור מתקדם**. מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית.

11 מערכות שליטה ובקרה למערכות אוטונומיות משולבות (בסקטור התחבורה החכמה)

11.1 יתרונות, אתגרים והמלצות

11.1.1 יתרונות של ישראל

- לפי Bernhart & Ernst, 2018, מעל 550 חברות ישראליות עוסקות בתחום הרכב, חלק ניכר מהן (מעל חצי) בתחום התחבורה החכמה והרכב האוטונומי.
- החברות העוסקות בנושא תחבורה חכמה בישראל משתמשות במידע עתק או בגישה קהילתית כדי לאסוף מידע ולבנות שירותים חדשים. החברות מתמקדות במידע ובידור (infotainment), ניווט, ניידות-משותפות, ניווט חכם (כולל ניהול חניה) וניהול צי מלא עם אופטימיזציה לוגיסטית.
- חברות בינלאומיות בודקות את הפיתוחים בשוק הישראלי, ומייצאות לאחר מכן לשווקים גדולים יותר.
- יכולות הנדסת התוכנה והחומרה הדרושות לפיתוח פתרונות ל (Advanced driver-assistance) ADAS - systems) ולרכבים אוטונומיים יכולות להישען בחלקם על הניסיון הישראלי הרב בתחום הצבאי ובתחום הגנת הסייבר.
- ליצרני הרכב הגדולים בעולם כמו גם לחברות התוכנה הגדולות יש פעילות ענפה בישראל.
- ממשלת ישראל הקדישה מאמצים רבים בתחום התחבורה החכמה בכללותו. בין ההחלטות הבולטות: החלטת הממשלה בנושא "תכנית לאומית לתחבורה חכמה" מינואר 2017, הקמת מאגד בנושא עיבוד מידע ברכב אוטונומי (Avatar)²⁰², הקמת מרכז ניסויים לרכבים אוטונומיים, הקמת מרכז אקדמי לאומי לתחבורה חכמה, קול קורא להקמת מאגד ניהול מרוחק של ציי מכונות רובוטיות בסביבות אנושיות פתוחות (אנדרומדה). לפי מרכז המחקר של הכנסת סך תמיכת רשות החדשנות בכלל תחומי התחבורה החכמה עמדה בשנת 2017 על 90 מיליוני ש"ח בכלל מסלולי התמיכה; בשנת 2018 על 57 מיליוני ש"ח ועל 73 מיליוני ש"ח בחציון הראשון של שנת 2019.

11.1.2 אתגרים של ישראל

האתגרים הבאים הם אתגרים איתם מתמודד כלל שוק הרכבים המתקדמים בעולם, והם אינם ייחודיים לישראל. על מנת למצוא את האתגרים האופייניים לישראל יש לבצע ראיונות עם מומחים (ראו בהמשך)

מכוניות מחוברות (connected):

- **אתגרים טכנולוגיים:** יכולות מערכות הרכב וארכיטקטורת EE; כיסוי 3G של 95%
- **אתגרים צרכניים:** שיעור האנשים שמוכנים לשלם תוספת עבור שירות פרמיום ועבור חווייה (למשל חלון מציאות רבודה)
- **אתגרים רגולטוריים:** תזמון דרישות כגון E-Call (הזמנה אוטומטית של כוחות הצלה בעת תאונה) ושמירה על פרטיות מידע
- **אתגרים כלכליים:** ירידה במחירי עדכונים (OTA) Over the Air לעומת (OBDII) On board diagnosis , תשלום נמוך פר-שימוש לעומת תעריף קבוע

מכוניות אוטונומיות

- **אתגרים טכנולוגיים:** מידת הכיסוי של ה-Operating Driving Domain (ODD) (מעל 75% ב-50 קמ"ש); כיסוי רשת 4G/5G.
- **אתגרים צרכניים:** שיעור האנשים המוכנים לשלם תוספת כדי לנהוג ברכב חדשני ולוותר על נהיגה עצמית.
- **אתגרים רגולטוריים:** רמת אמצעי הבטיחות שתידרש

²⁰² <https://innovationisrael.org.il/events/3892>

- **אתגרים כלכליים:** רווחים מ"המסך החמישי" (כיניו למסכי תקשורת המותקנים במקומות שונים בבית ומחוצה לו, בנקודות המתנה, מכירה או מעבר); מחיר בעלות כולל (Total Cost of Ownership-TCO) מוזל.

11.1.3 המלצות

לא ניתן להעלות המלצות מבלי לבצע ראיונות עם המומחים בתחום לגבי היתרונות והחסרונות של ישראל.

11.1.4 רשימת מרואיינים

אקדמיה (ירואיינו 2-3 מרואיינים)

- פרופ' דני וייס/פרופ' עומרי רנד- המחלקה למערכות אוטונומיות בטכניון
- פרופ' אלי ביהם, - ראש מרכז המחקר לאבטחת סייבר
- פרופ' פרדי ברוקשטיין- המחלקה למדעי המחשב, הטכניון
- פרופ' יורם שיפטן- הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית - הטכניון

מרואיינים פוטנציאליים מהתעשייה (ירואיינו 2-3 מרואיינים):

- ישראל דואניס/ליאור גרנשטיין- Fleetonomy
- בן וולקוב- otonomo
- קובי אייזנברג /Gett /autofleet
- אופיר הרבסט- Jungo Connectivity
- מיקי זילברשטיין/ איתמר מולצ'דסקי – Galooli
- הן קליינר - Drone Master

11.2 רקע

בעולם המרושת של ימינו כמעט לא ניתן למצוא מערכות אשר עומדות לבדן ("Stand alone"). יש הטוענים שכמעט כל מערכת שמפותחת היום תהיה בסופו של דבר רכיב או מודול של מערכות גדולות יותר, או "מערכות של מערכות" ("System of systems") (Luzeaux & Ruault, 2013)

מערכות מקושרות ביניהן עושות שימוש בטכנולוגיות שונות כגון TCP/IP, RFID, רשתות חיישנים, רשתות ביתיות, רשתות סלולריות, מחשוב embedded וכו'. האפליקציות הנפוצות של מערכות מקושרות הן (Kusek, 2018):

- security – surveillance, alarms, object/human tracking, etc.;
- transportation – fleet management, toll payment, road safety, smart transport in the city;
- e-Health – remote patient monitoring, Mobile Health, telecare;
- manufacturing (Industry 4.0) – production monitoring and automation;
- utilities – metering oil, water, electricity or heat, garbage tracking;
- industrial supply and provisioning – supply and distribution monitoring (storage management), vending machines;
- facility management – informatisation and automation of various home, building, or part of city resource management;
- precision agriculture – sensing air, soil or plant, smart irrigation systems, disease detection.

חברת גרטנר חוזה שעד סוף שנת 2020 יהיו בעולם כ-5.8 מיליארד התקני קצה מחוברים, ומספר זה צפוי להמשיך ולגדול (Goasduff, 2019). יש המשתמשים במונח "סביבה חכמה מבוססת IoT" (IoT-based smart environments) כדי לתאר סביבה רוויה במערכות

הטבלה הבאה מציגה את התפתחות הסביבה המבוססת IoT עד כה, והתפתחויות הצפויות בעתיד משתי נקודות מבט משמעותיות: אפשרויות התכנות (Programmability viewpoint) וה-data.

טבלה 30: התפתחות צפויה של מערכות IoT לפי Taivalsaari & Mikkonen, 2019

year	Data viewpoint	Programmability viewpoint
2015	<ul style="list-style-type: none"> • Data acquisition on a massive scale • Monitoring, tracking, routing, command and control and mining for trends and behaviors • Cloud-centric data analytics, including both real time and offline analytics. • A focus on data visualization and simple "If this Then That (IFTTT) alerts • Open source technologies available and widely used for implementing data acquisition and analytics features 	<ul style="list-style-type: none"> • Most serious computation performed in the cloud • Device support for basic actuation only; actuation implemented mostly natively using device- or manufacturer-specific, proprietary APIs or apps • Device- or manufacturer-specific device control application available in apps stores • Visual notation (for example node-RED) emerging for implementing device control more portably • Standards emerging, but not widely adopted.
2020 (Edge IoT Era)	<ul style="list-style-type: none"> • Edge computing APIs and mechanisms leverages extensively in data processing and analytics; more intelligent filtering and denoising of uploaded data • Increasingly autonomous operation of data acquisition and analytics systems based on direct machine-to-machine communication, using local connectivity. • Adapting, enhancing, and extending automatic determination and selection of computing analysis resources (cloud versus edge) 	<ul style="list-style-type: none"> • Edge computing capabilities and APIs available for provisioning computing flexibility between the cloud and edge services. • More advanced actuation capabilities; standardized actuation APIs • Domain specific device control applications available • Virtual machines commonly available in IoT devices, enabling cross manufacturer IoT application development and flexible migration of computation between the cloud and edge devices
2025 (Universal IoT Era)	<ul style="list-style-type: none"> • Fully automates, context-aware data acquisition, analytics, and decision optimization based on pervasive use of AI techniques such as machine learning • Universal machine-to-machine collaboration enabled by common cross-manufacturer, cross-industry APIs; social use of data among machines 	<ul style="list-style-type: none"> • A universal, containerized application-deployment-ad-execution model supported across multiple manufacturers and industries • Industry-wide, cross-manufacturer programming APIs allowing generalized device discovery, data acquisition, remote device programming and device management • Universal-remote-control applications and universal consoles possible • Dynamic remote programming and reprogramming devices widely supported, enabled by the widespread of Virtual machines, containerization, and common developed APIs

מקור: (Taivalsaari & Mikkonen, 2017)

טכנולוגיות קשורות

המחקר בנושא מערכות משולבות ומערכות שליטה ובקרה להפעלתן מתמקד במספר טכנולוגיות, ובהן:

- ארכיטקטורה ופתרונות לשו"ב (שליטה ובקרה) מרחוק בזמן אמת על ריבוי מכונות אוטונומיות וחצי אוטונומיות, כולל שילוב בין סוגי מכונות שונים של יצרנים ומפעילים שונים:

דוגמה אחת לצורך בתחום הזה היא מתחום התחבורה, וזאת מכיוון שבתחום זה (כמו גם בתחומים אחרים) הולכת ועולה חשיבות החיבוריות, קרי יכולת של כלי רכב לתקשר בינם לבין עצמם, עם תשתיות סמוכות ועם מערכת מרכזית, בין אם באמצעות מערכות המוטמעות ברכב עצמו או באמצעות תוספים שונים. החיבוריות אפשרית בין כלי רכב (V2V - Vehicle-to-Vehicle) ובין כלי רכב לתשתיות (V2I - Infrastructure-to-Vehicle). (Vehicle) החיבוריות מאפשרת לנהג (או לרכב אוטונומי) לקבל ולמסור מידע לגבי המתרחש על הכביש. כך, היא מאפשרת לנטר את התנועה, לווסת אותה באמצעים שונים (למשל באמצעות תמחור נסיעה בנתיב מהיר), לייצר תיאום טוב יותר בין התנועה ובין מערכת הרמזור ולייעל את זרימתה במרחב. (בר, 2019)

המעבר ממכונה ניידת אחת (כמו רכב, רחפן, כלי ימי וכו') לריבוי מכונות צפוי להביא איתו אתגרים חדשים. הטבלה הבאה מרכזת כמה מאתגרים אלה, שכולם מצריכים עדיין מחקר:

טבלה 31: אתגרים הצפויים ממעבר ממכונה ניידת אחת (כמו רכב, רחפן, כלי ימי וכו') לריבוי מכונות

Challenge	Causes	Guidelines
Security	<ul style="list-style-type: none"> • Lack of sophisticated software solutions • Lack of frequent software updates • Involvement of cyber-physical systems 	<ul style="list-style-type: none"> • Quantum cryptography and blockchain enabled security algorithms to mitigate internal and external threats associated with sensors • Defense in depth mindset • Properly analyzing logs • Deploying machine learning models
Radar interface management	<ul style="list-style-type: none"> • High road traffic • Lack of collision detection and avoidance algorithms • Multiple radars operation in overlapping bands are within the same vicinity 	<ul style="list-style-type: none"> • Dealing with RF noise and radar that identifies and classifies obstacles
Heterogeneous vehicle networks	<ul style="list-style-type: none"> • Involvement of large number of connected cars • Limited network capacity • Rapid change in topology 	<ul style="list-style-type: none"> • Integrating different wireless access networks based on heterogeneous infrastructures
AI for autonomous driving cars	<ul style="list-style-type: none"> • Lack of real-time data analysis solutions • Complex datasets of heterogenous types 	<ul style="list-style-type: none"> • Convergence of edge computing and Ai • Data fusion and deep learning-based solutions
Edge-assisted autonomous driving	<ul style="list-style-type: none"> • Scalability issues in terms of functionality, administration and load. • A massive amount of data production 	<ul style="list-style-type: none"> • High-performance memory • Deploying edge nodes at most suitable places

מקור: (Yaqoob et al., 2019)

יש לציין שנכון להיום קיימים שני תקנים של חיבוריות בין מכונות למכונות אחרות, תשתיות כביש או התקנים אחרים (שידועה בשם הכללי 'VtX' או 'vehicle to everything'), ורכבים עתידיים יצטרכו כנראה לתפקד בסביבה שבה ימצאו רכבים ללא תכונות חיבוריות מתקדמות וכן רכבים בעלי תכונות חיבוריות הפועלות בתקן שונה.

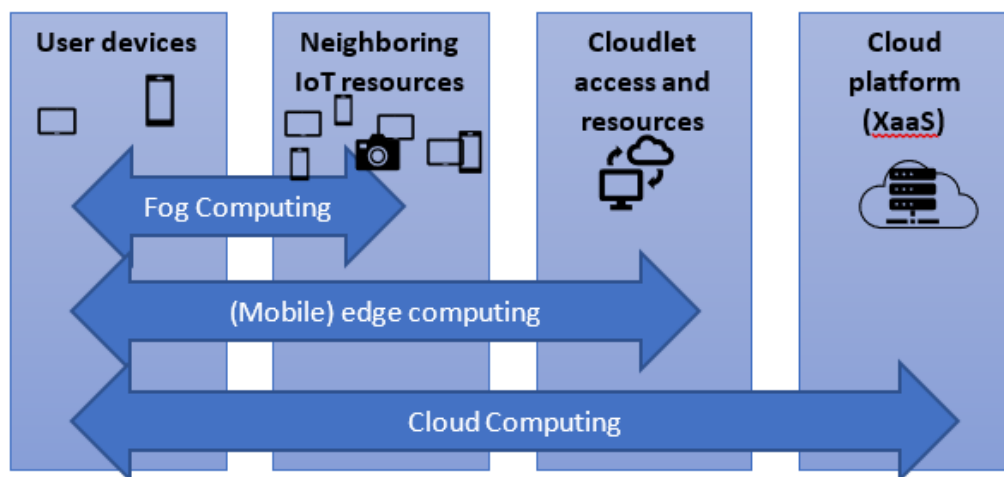
- **חלוקת משאבים דינמית ואוטונומית בין מחשוב קצה, מחשוב ענן ומחשוב מרכזי לטיפול בריבוי מכונות ניידות:**

האבולוציה של תשתיות ה-lot קשורה באופן הדוק להעברת תהליכי עיבוד וניהול משאבים מההיררכיות הגבוהות במערכת, קרי הענן (cloud computing) אל נקודות גישה לענן (Edge computing) ואל נקודות IoT סמוכות (Fog computing).

כיום נהוג להשתמש במונח "רובוטיקה בענן" (cloud robotics) עבור מערכת רובוטית שהפעולה שלה נתמכת על ידי נתונים או קוד דרך הרשת, כלומר לא כל החישה, המחשוב והזיכרון משולבים במערכת הרובוטית היחידה עצמה (Goldberg, 2019). לאחרונה נכנס לשימוש המונח "רובוטיקה בערפל" (fog robotics) בהשאלה מ"מחשוב ערפל" (Fog computing) שהיא ארכיטקטורה שבה כלל המשאבים (מחשוב, אחסון, בקרה ורשתות) מבוזרים לאורך הרצף, מהענן עד הקצה. בהשאלה, רובוטיקה בערפל היא הרחבה של רובוטיקה בענן, שבה משאבי אחסון, מחשוב ורשתות מבוזרים בין הענן לקצה (Botta, Gallo, & Ventre, 2019).

האיור הבא מדגים את ההיררכיות השונות: (Oteafy & Hassanein, 2018)

איור 58: היררכיות בארכיטקטורת מערכות IoT



מקור: עיבוד של מוסד נאמן ל- Oteafy & Hassanein, 2018

המעבר למחשוב ערפל מציב אתגרים חדשים ובהם זמן העברת הנתונים והשהיות, צריכת אנרגיה, פרטיות ובטחון ועוד.

- **תפיסות הפעלה המתחשבות ביכולות אדם מול מכונה לשילוב של שליטה מרוחקת ע"י אדם:**

חזית המחקר כיום מכירה ביכולת התפיסה והשליטה של בני האדם במשימות שאינן מובנות או חוזרות על עצמן. למרות התקדמות עצומה בחישה, למידה ושליטה ברובוט, רובוטים אינם יכולים להחליף במלואם את יכולות התפיסה והתקשורת הייחודיות של בני האדם.


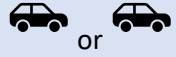




ישנם שלושה מודלים של שליטה אנושית במערכות (ICRC, 2019):

- **שליטה ישירה:** דורשת התערבות מתמדת של מפעיל אנושי לשליטה ישירה או שליטה מרחוק בפונקציות המערכת, ולכן לא מדובר במערכות אוטונומיות
- **שליטה משותפת:** המפעיל האנושי שולט ישירות בפונקציות מסוימות בעוד שהמכונה שולטת בפונקציות אחרות בפיקוח המפעיל. למשל מל"ט חמוש שבו המפעיל שולט על מערכות הנשק ומכונה שולטת על תפקודי הטיסה והניווט באופן אוטונומי בפיקוח אנושי.
- **פיקוח:** מערכת רובוטית מבצעת משימות באופן אוטונומי בזמן שהמפעיל האנושי מפקח. המפעיל יכול לספק הוראות ו / או להתערב ולקחת חזרה את השליטה.

כאשר השליטה היא משותפת (Shared Control) או שיתופית (Cooperative Control), הן האדם והן המכונות מעורבים בבקרה בזמנית ו/או לסירוגין ועם חלוקת משימות שונה בין המשתתפים בבקרה. פרדיגמות שליטה משותפות ושיתופיות כבר פותחו בתחומים רבים כמו תעופה, רכבים ורובוטים קרקעיים, תעשייה, ניהול משברים ולצורך יישומים צבאיים. נוסף על המחקר והפיתוח היישומי מתבצעת עבודה בתחום התיאוריה והמושגים של שיתוף פעולה אדם-מכונה בבקרה משותפת. שיתוף פעולה בבקרה צפוי להפוך לחשוב יותר ככל שיגדלו היכולות והקישוריות של מכונות בתחומים כמו נהיגה, טיסה או תעשייה (Flemisch, Abbink, Itoh, & Pacaux-4.0 Lemoine, 2019).

איור 59 מציג מודלים של שליטת אדם, שליטת מכונה ושליטה משותפת ברמות אוטונומיה שונות (מ-0, רכב ללא יכולות אוטונומיות, ועד 5- רכב אוטונומי לחלוטין).

איור 59: מי שולט ברכב? מעבר משליטת נהג לשליטה אוטונומית על ציר הזמן

monitored driving		non monitored driving			
Eyes on, Hands on	temporary	Hands off	Eyes off, Hands off		
Contentious lateral and longitude control 	Contentious lateral and longitude control 	Sporadic monitoring be ready to resume control	Driver not Required (during defined use)		
		recognize performance limits require driver to Resume control 	Cope with all situations automatically 		
	Continuous monitoring lateral and longitude control 		Driver not required Cope with all situations automatically 		
0	1	2	3	4	5
Driver only	Assisted	Assisted	Conditional Automation	High Automation	Full Automation
Already on The market			Awaited 2020 -2030		

מקור: עיבוד של מוסד נאמן ל- Alonso Raposo et al., 2019

- **אופטימיזציה של זרימת מידע רב (ריבוי סנסורים, רוחב פס גבוה, ריבוי יצרני מידע, ריבוי צרכני מידע, תוך ניידות) – ע"י AI:**

כפי שצוין מעלה, כמות המכשירים המחוברים הולכת ועולה ואיתה האתגר שבניהול מכשירים כה רבים. לשם כך, הנציבות הבין-לאומית לאלקטרוטכניקה²⁰³ (International Electrotechnical Commission (IEC)) הציגה מסגרת בעלת שלוש שכבות לניהול מכשירי IoT: ארגון, פלטפורמה וקצה

מבין שלושת הרמות, ניהול ברמת הקצה הפך לאחד הנושאים החמים ביותר בשנים האחרונות. הדור הראשוני של ניהול IoT היה מרכזי בענף, שם נאספו נתוני חיישנים מהשדה, ואז עובדו ונותחו ברמת הארגון או הפלטפורמה. עם זאת, כמות אדירה של נתונים צריכה לזרום חזרה לענף ויש צורך לעבד את הנתונים כדי להבנות אותם ולנתח אותם.

²⁰³ <https://www.iec.ch/>

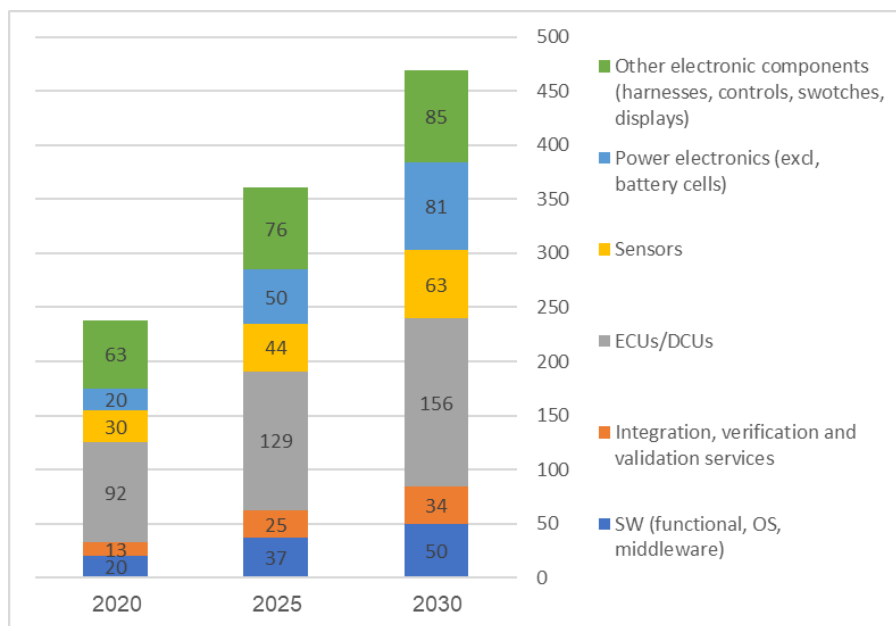
ההתקדמות בבינה מלאכותית (AI), בשילוב עם זמינות נתוני חיישני שדה שונים, מאפשרת ניהול IoT חכם באמצעות AI בקצה. כאשר עיבוד הנתונים והסקת המסקנות מתבצעת בהתקני הקצה, התעבורה הרשתית הזורמת לענן מצטמצמת מאוד, וזמן התגובה של מכשירי IoT מצטמצם מכיוון ההחלטות הניהוליות יתבצעו ברמה המקומית, קרוב להתקנים עצמם. מקור: (Cheng, 2019)

11.3 ניתוח שוק

רכבים אוטונומיים הם מוטי תוכנה. המעבר לרכבים אלו צפוי לשנות את כללי השוק המוכרים לנו היום כאשר גורמים חדשים צפויים להיכנס והיצרנים הקיימים צפויים להגביר את מאמציהם על מנת להתאים את עצמם ל"עידן התוכנה". מרבית החברות בתעשייה מתרכזות כיום בפיתוח מערכות עזר מתקדמות לנהגים (ADAS) Advanced Driver Assistance Systems)) מתוך ציפייה להגעה הדרגתית לרכב אוטונומי לא לפני שנת 2030. חברות אלו מציינות אתגרי פיתוח שעדיין קיימים כמו תפקוד החיישנים בכל סוגי מזג אוויר ושיקולי בטיחות ואחריות (liability) (Proff, Pottebaum, & Wolf, 2019).

כפי שניתן לראות באיור 60 שוק התכנה לרכב ורכבים חשמליים צפוי לגדול בכ-7% בין השנים 2020-2030, כאשר נתח השוק הגדול ביותר הוא למערכות בקרה חשמליות (ECU=Electric control system) ולמערכות בקרת תחום (DCU=Domain Control System).

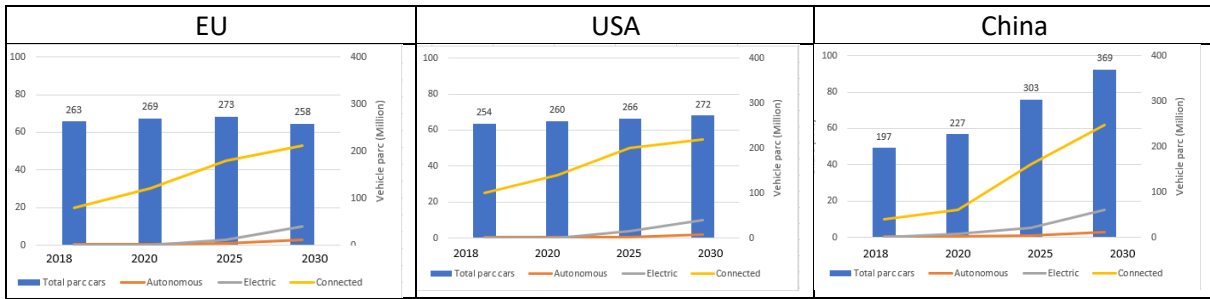
איור 60: שוק התוכנה לרכב ורכבים חשמליים/אלקטרוניים (Electric and Electrical) 2030-2020



ECU=Electric control system; DCU=Domain Control System; OS=Operation system; SW=Software
 מקור: עיבוד של מוסד נאמן ל-2019 Burkacky, Deichmann, & Stein

במקביל קיים צפי לגידול בשיעור המכונות המקושרות (Connected Cars) מתוך סך מכירות המכונות בעולם. האיור הבא מציג תחזית לכלל הרכבים (ביחידות) שצפויים להימכר בעשור הקרוב בשלושה מהשווקים הגדולים בעולם- ארה"ב, האיחוד האירופי וסין, ושיעור הרכבים האוטונומיים, החשמליים והמקושרים מכלל המכונות:

איור 61: תחזית מכירת כלי רכב בעשור הקרוב באיחוד האירופי, ארה"ב וסין (כלי רכב ביחידות, רכבים אוטונומיים, חשמליים ומקושרים כאחוז מכלל המכירות)



מקור: עיבוד של מוסד נאמן ל-2019 Strategy&, (הקיטון במספר כלי הרכב באירופה נובע ממעבר לתחבורה שיתופית)

קצב החדירה של סוגי המכוניות תלוי בארבעה גורמים: רמת הבשלות הטכנולוגית, נכונות הצרכנים לאמץ את הטכנולוגיה, רגולציה וכדאיות כלכלית. האיור הבא מסכם את האתגרים לפי גורמים עבור מכוניות מחוברות (connected), חשמליות, אוטונומיות ושיתופיות:

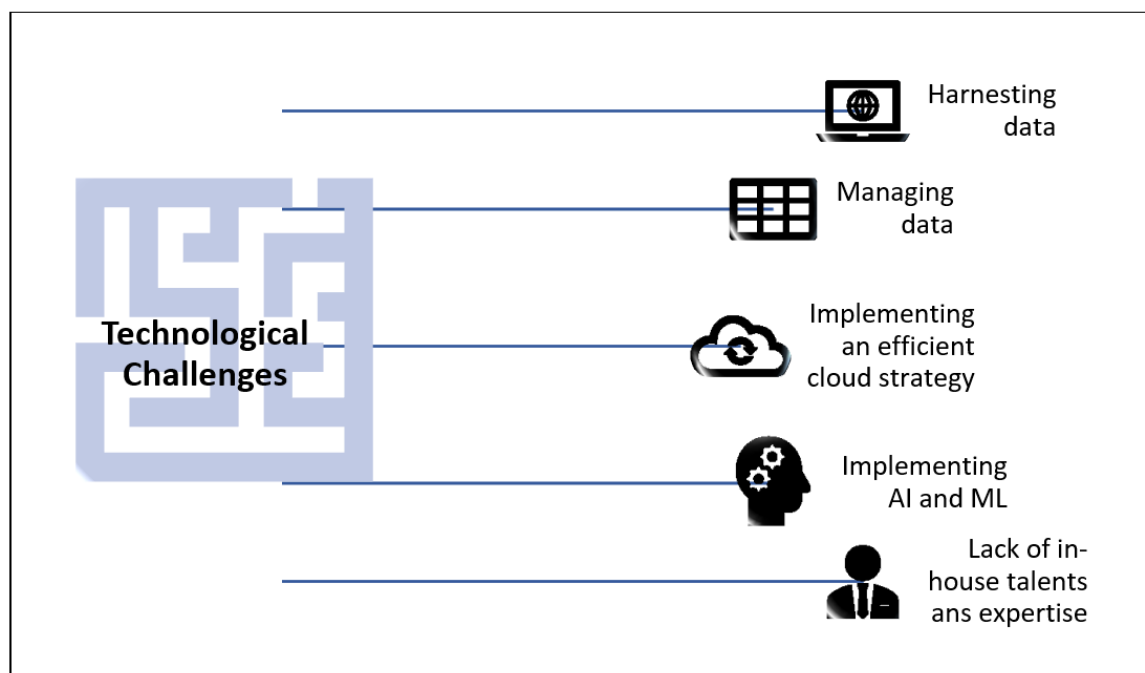
איור 62: שיקולים באימוץ רכבים מחוברים (connected), חשמליים, אוטונומיים ותחבורה שיתופית

	1. Technology	2. Consumer	3. Regulation	4. Economics
Connected 	<ul style="list-style-type: none"> Viable car system capability and EE¹ architecture 3G coverage must be >95% 	<ul style="list-style-type: none"> Share of people paying extra for: <ul style="list-style-type: none"> Premium services Experience (e.g. AR windows) 	<ul style="list-style-type: none"> Timing of requirements such as: <ul style="list-style-type: none"> Mandatory eCall Geo-data privacy 	<ul style="list-style-type: none"> Superior economics: <ul style="list-style-type: none"> Cheaper OTA² vs. OBDI updates Low usage-base
Electric 	<ul style="list-style-type: none"> Electric powertrain performance Charging network availability (>80% coverage in urban areas) 	<ul style="list-style-type: none"> Consumer preference for: <ul style="list-style-type: none"> Acceleration Sustainability Operating cost 	<ul style="list-style-type: none"> Emission target levels (from 95g Co₂/Km down to 60g Co₂/Km) Cities with IEC bans/restrictions 	<ul style="list-style-type: none"> Superior total cost of ownership (TCO) of BEV and ICE (at mid-range for value segment)
Automated 	<ul style="list-style-type: none"> Coverage of a vehicle's operating domain (>75% at 50km/h) 4G/5G network coverage 	<ul style="list-style-type: none"> Share of users paying extra for: <ul style="list-style-type: none"> "Having it first" Letting tech do the driving 	<ul style="list-style-type: none"> Enforced L2 safety features e.g. front camera [AV people movers/robotaxis approved in restricted areas) 	<ul style="list-style-type: none"> "5th screen" revenues Superior TCO and lower price
Shared 	<ul style="list-style-type: none"> Smartphone penetration (<70% of population) International/in termodal roaming 	<ul style="list-style-type: none"> Share of people willing to give up own car in urban areas (>40%) 	<ul style="list-style-type: none"> Carpool occupancy requirements Insurance/liability requirements 	<ul style="list-style-type: none"> Superior cost vs. own vehicle (>20% cheaper)

1)EE = electric/ electronics 2) OTA = Over the Air; OBDII = On board diagnosis interface
מקור: עיבוד של מוסד נאמן ל-2019 Strategy&

על פי ניתוח של חברת הייעוץ Frost & Sullivan, יצרני כלי רכב צריכים להתגבר על חמשת האתגרים הבאים, שכיום מהווים חסמים טכנולוגיים להצלחתם של רכבים מקושרים ואוטונומיים:

איור 63: חמישה אתגרים שמהווים חסמים טכנולוגיים להצלחתם של רכבים מקושרים ואוטונומיים



מקור: עיבוד של מוסד נאמן ל- Frost & Sullivan, 2019

11.4 תחום שליטה ובקרה במערכות אוטונומיות בישראל

לפי Bernhart & Ernst, 2018, מעל 550 חברות ישראליות עוסקות בתחום הרכב, חלק ניכר מהן (מעל חצי) בתחום התחבורה החכמה והרכב האוטונומי:

איור 64: מבנה תעשיית הרכב והתחבורה החכמה בישראל

E-mobility	Autonomous mobility	Smart mobility	Vehicle technology	Other
<ul style="list-style-type: none"> « Electric Vehicle « Batteries/ storage/ e-powertrain « Charging infrastructure « Other 	<ul style="list-style-type: none"> « Automated & urban vehicles « Active safety & ADAS « Drones « Sensors « Others 	<ul style="list-style-type: none"> « Infotainment & connected cars « Sharing mobility « Navigation & ITS « Fleet Management/ logistics « Parking « Big Data « Other 	<ul style="list-style-type: none"> « Manufacturing « Energy efficiency « Engines « Passive safety « Security « Other 	<ul style="list-style-type: none"> « Alternative fuels « Infrastructure « Other
17%	18%	36%	24%	5%
>550 companies				

מקור: עיבוד של מוסד נאמן ל (Bernhart & Ernst, 2018)

חברת הייעוץ האסטרטגי רולנד ברגר (Bernhart & Ernst, 2018) מיפתה את הטכנולוגיות והממשקים בתחום הרכב שבהם צפוי גידול, ובדקה באילו תחומים קיימת פעילות בכלל החברות ובחברות הזנק ישראליות. רמת הפעילות המשמעותית בישראל היא בתחומי ה-ADAS (Advanced driver-assistance systems) (כולל טכנולוגיות חיישנים (רדאר, לידר), חיבור מידע מחיישנים ויצירת מודל סביבתי, מחשוב מתקדם וזיהוי אובייקטים וחיזוי) וה-HMI (Human-Machine Interface) (כולל שילוב התקנים חכמים ומערכות Infotainment בתוך הרכב).

11.5 תמיכה ממשלתית

ממשלת ישראל הקדישה מאמצים רבים בתחום התחבורה החכמה בכללותו. להלן סקירה של חלק ממאמצים אלו (גולדשמידט, 2019):

- **החלטת הממשלה בנושא "תכנית לאומית לתחבורה חכמה" מינואר 2017.** בין המשימות שהוגדרו: הקמת ועדת היגוי משותפת למשרדי הממשלה הרלבנטיים, ביצוע תוכנית לאומית שתכלול: הקמת מרכז ניסויים לרכב אוטונומי; הנגשת תשתיות מידע, ומיפוי; קידום מו"פ ושיתופי פעולה בין מגזריים; קידום ניסויי חלוץ (פיילוטים). על פי ההחלטה, תקציב התוכנית יהיה 238 מיליוני ש"ח שיוקצו על פני חמש שנים לפי החלוקה הבאה: 5 מיליוני ש"ח לשנה מתקציב רשות החדשנות במשרד הכלכלה, 5 מיליוני ש"ח לשנה מתקציב משרד ראש הממשלה ו-5 מיליוני ש"ח לשנה מתקציב ות"ת במועצה להשכלה גבוהה (כלומר סה"כ 15 מיליוני ש"ח לשנה משלושת הגופים האמורים; סה"כ 75 מיליוני ש"ח לחמש שנים) ועוד 163 מיליוני ש"ח מתקציב משרד התחבורה.
- **הקמת מאגד בנושא עיבוד מידע ברכב אוטונומי (Avatar)**²⁰⁴.
- **הקמת מרכז ניסויים לרכבים אוטונומיים** שיעדיו: הובלת תחום הניסויים באוטונומיה ותחבורה חכמה בישראל; שדרוג יכולות הסימולציה והנגשתן לתעשייה; גיבוש אתרי ניסוי מגוון וחדש בהתאם לצרכי התעשייה; הנגשת ידע לתכנון וביצוע ניסויים מורכבים; פיתוח תשתית לביצוע בחינות עמידות סייבר.
- **הקמת מרכז אקדמי לאומי לתחבורה חכמה** ע"י הטכניון ובר אילן במימון של 25 מיליון ש"ח.
- **לאחרונה יצא קול קורא להקמת מאגד ניהול מרוחק של ציי מכונות רובוטיות בסביבות אנושיות פתוחות (אנדרומדה)**

לפי מרכז המחקר של הכנסת סך תמיכת הרשות בכלל תחומי התחבורה החכמה עמדה בשנת 2017 על 90 מיליוני ש"ח בכלל מסלולי התמיכה; בשנת 2018 על 57 מיליוני ש"ח ועל 73 מיליוני ש"ח בחציון הראשון של שנת 2019.

²⁰⁴ <https://innovationisrael.org.il/events/3892>

11.6 תעשייה בישראל

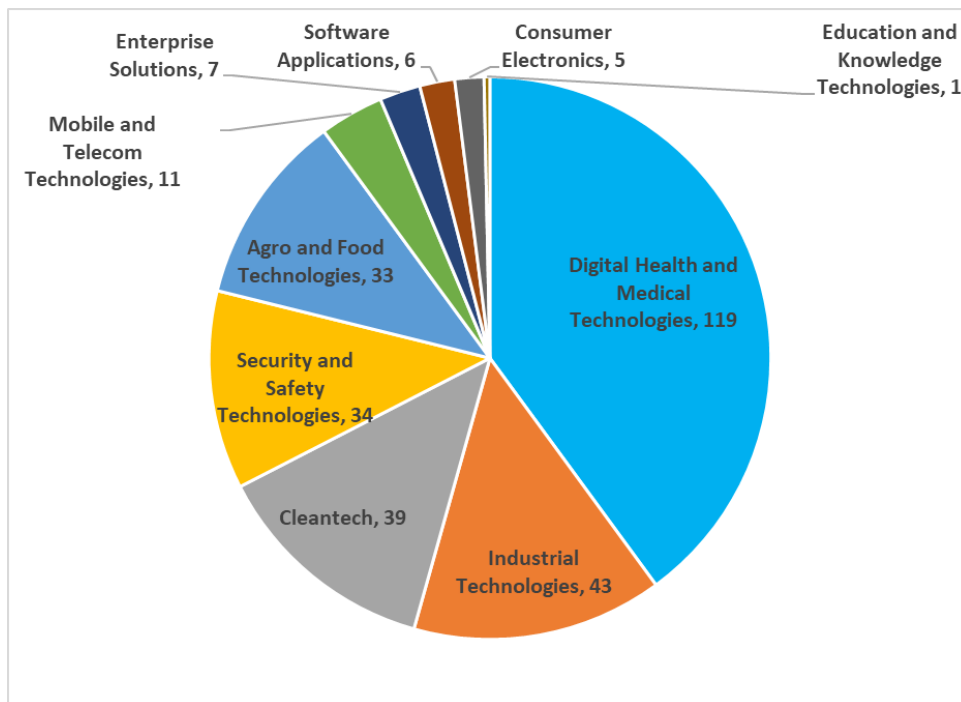
במאגר המידע Startup Nation Central Finder מתויגות (נכון לתחילת דצמבר 2019) 298 חברות בתגיות הבאות:

תגית	הגדרה	מספר חברות	מתוך זה חברות בתחום ה-Digital Health and Medical Technologies
remote monitoring	Remote monitoring and control systems are designed to control large or complex facilities (e.g. factories, power plants, network operations centers, etc.) using sensor-based data, user inputs, and preprogrammed procedures. Remote monitoring may also refer to remote patient monitoring, in which outpatients can use a mobile medical device to perform routine tests and transmit the test data to a healthcare professional in real time.	166	116
control systems	Control systems use control loops to manage other systems or devices	110	1
remote control	(אין הגדרה במאגר המידע)	22	
סה"כ		298	

בנוסף יש במאגר המידע 376 חברות שמתויגות בתגית IoT (ולא מתויגות בתגיות שבטבלה), 63 חברות שמתויגות בתגית autonomous או autonomy או autonomous-vehicle (ולא מתויגות באף אחת מהתגיות האחרות שהוזכרו עד כה), 67 חברות שמתויגות בתגית drones (ולא מתויגות באף אחת מהתגיות האחרות שהוזכרו עד כה). מספר גדול מאוד של חברות (1,097 חברות) מתויגות בתגית artificial-intelligence (ולא מתויגות באף אחת מהתגיות האחרות שהוזכרו עד כה). ריבוי החברות מעיד על פעילות ענפה בתחום בתעשייה בישראל.

האיור הבא מציג את התפלגות החברות המתויגות בתגיות המוזכרות בטבלה מעלה לפי תחומים:

איור 65 : מספר חברות טכנולוגיה ישראליות שעוסקות ב-remote monitoring, control systems או remote control לפי תחומים

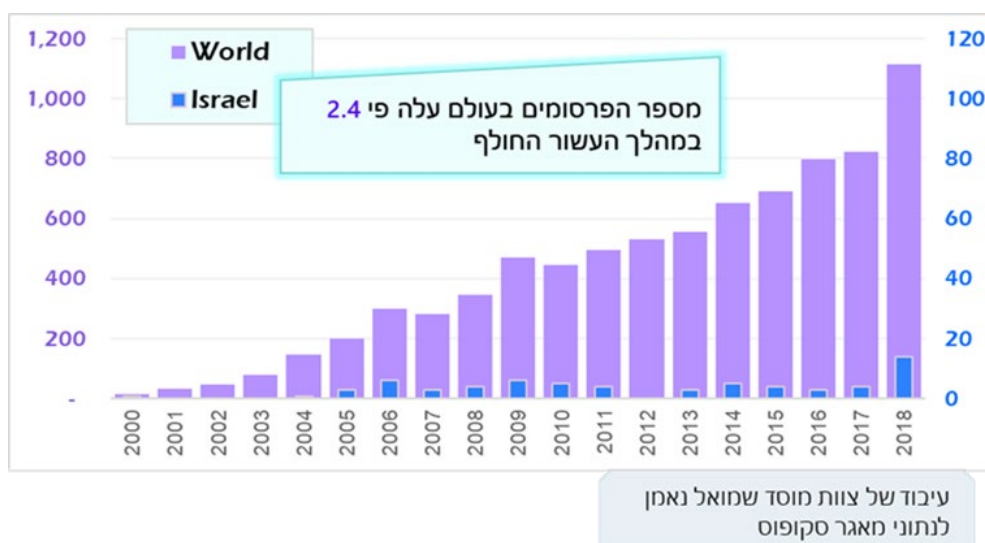


מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

11.7 מדדים ביבליומטריים

החל משנת 2004 מספר הפרסומים בעולם העוסקים ב- Swarm Intelligence in Autonomous Systems (בינת הנחיל של מערכות אוטונומיות) נמצא במגמת עלייה, כאשר שנת השיא היא 2018 עליה של 36% לעומת שנה קודמת. גם בישראל המגמות דומות (איור 66):

איור 66: מספר הפרסומים בעולם בשנים 2000-2018



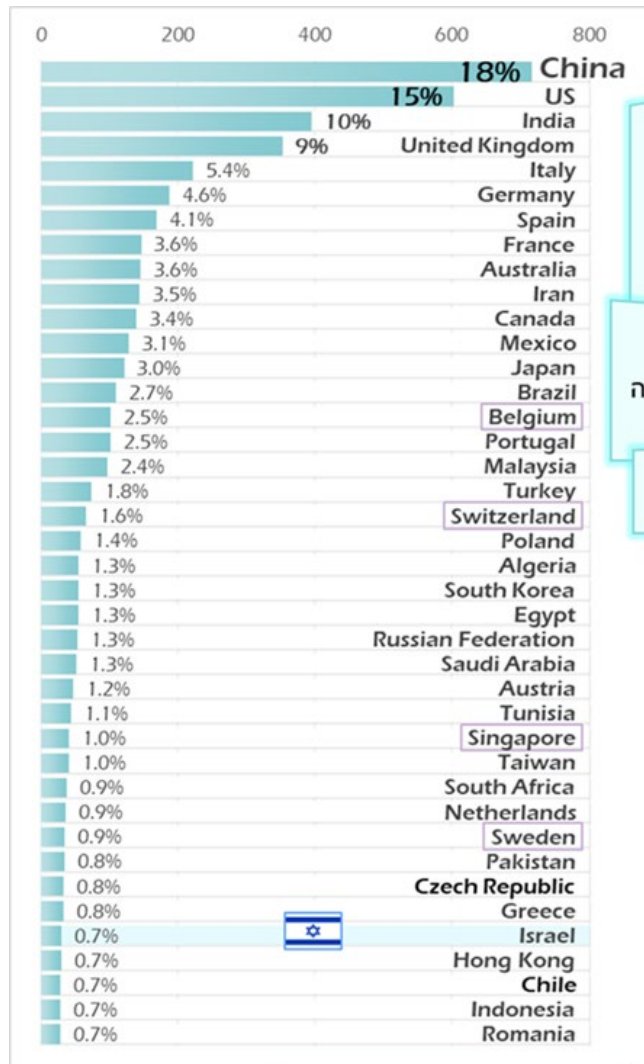
עיבוד של צוות מוסד שמואל נאמן לנתוני מאגר סקופוס

כפי שניתן לראות באיור הבא, ישראל איננה מהמדינות המובילות בעולם בפרסומים בתחום של מערכות שליטה ובקרה למערכות אוטונומיות משולבות. ישראל ממוקמת במקום ה-36 עם 0.7% מפרסומי העולם באותה

תקופה. המדינות המובילות בתחום הן סין (18%), ארה"ב (15%) והודו (10%) ובריטניה (9%). כולן מדינות גדולות לא בנות השוואה לישראל, אך גם מדינות בנות השוואה כמו בלגיה, שווייץ וסינגפור נמצאות מעל ישראל במספר הפרסומים בתחום (איור 67).

איור 68 מציג את גופי המימון המובילים בעולם למחקר האקדמי. הקרן הלאומית הסינית למדע (National Natural Science Foundation China) בולטת במספר המאמרים הממומנים, כ-7% מסך המאמרים בתחום בתקופה. ניתן לראות את ההשפעה בהובלה של סין במספר הפרסומים בעולם שמהווה 18% מהם באותה תקופה. שאר הגופים הממומנים שיעורם נמוך יותר ועומד על לא יותר מ-1.5%.

איור 67: 30 המדינות המובילות במספר הפרסומים בשנים 2014-2018



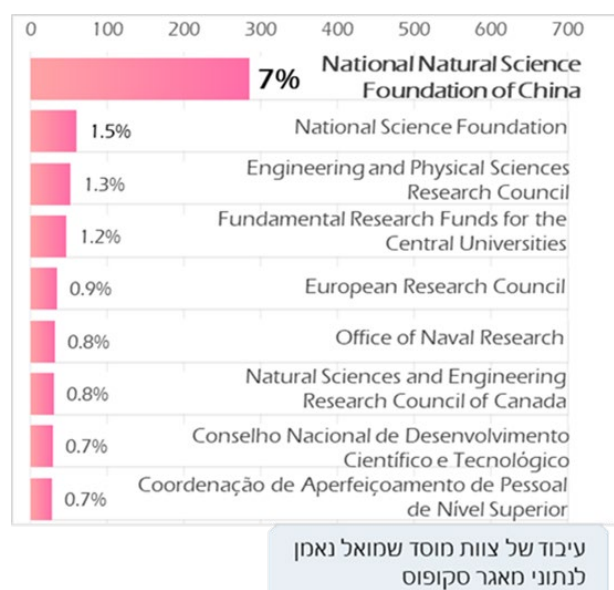
סין מובילה במספר המאמרים בשנים 2014-2018 עם 18% מכמות הפרסומים בעולם; אחריה ארה"ב - 15%; הודו עם כ-10%; בריטניה - 9%

ישראל ממוקמת במקום ה-36 עם 0.7% מפרסומי העולם באותה תקופה

מודגשות בסגול מדינות בנות השוואה לישראל

עיבוד של צוות מוסד שמואל נאמן לנתוני מאגר סקופוס

איור 68: גופי המימון המובילים לפי מספר המאמרים בעולם שמומנו בתקופה שבין 2014-2018



11.8 מענקי מחקר

מתודולוגיה: נסקרו הגופים העיקריים מהם מקבלים חוקרי ישראל מענקי מחקר. נסקרו כל מענקי המחקר המתוארים באתר הרלוונטי, בכל השנים עבורן יש נתונים. הסריקה נעשתה על ידי מילות החיפוש (IOT; Internet Of Things; Internet; Wearable Computing), ובדיקת התוצאות למטרה המבוקשת.

להלן תמצית התוצאות (התוצאות במלואן מובאות בנספח א'):

Foundation	For Years	No. of relevant Grants
ERC (European Research Council)	2007 - 2019	2
BARD (US-ISRAEL BINATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH AND DEVELOPMENT FUND)	2016 - 2019	0
GIF (The German-Israeli Foundation for Scientific Research and Development)	2011 - 2018	0
BIRD (Binational Industrial Research and Development) Foundation	1988 - 2019	0
ISF (Israel Science Foundation)	1991 - 2019	1
BSF (U.S.-Israel Binational Science Foundation)	1997 - 2019	0
Total		3

אפשר לראות שמספר המענקים שנמצאו הוא נמוך עד אפסי, בעיקר בהתחשב בכך שזהו מספר רב-שנתי (לאורך תקופות של מספר שנים) ושאינו אחיד עבור כל הקרנות. לכן, אין משמעות רבה להסקה סטטיסטית.

מפתיע לגלות שתחום זה המצטיין בחדשנות ופעילות נמרצת בחברות רבות אינו נתמך כמעט במענקי מחקר אקדמיים.

11.9 יתרונות ישראל בתחום

- החברות העוסקות בנושא תחבורה חכמה בישראל משתמשות במידע עתק או בגישה קהילתית כדי לאסוף מידע ולבנות שירותים חדשים. החברות מתמקדות במידע ובידור (infotainment), ניווט, ניידות-משותפות, ניווט חכם (כולל ניהול חניה) וניהול צי מלא עם אופטימיזציה לוגיסטית.

- החברות בודקות את הפיתוחים בשוק הישראלי, ומייצאות לאחר מכן לשווקים גדולים יותר.
- יכולות הנדסת התוכנה והחומרה הדרושות לפיתוח פתרונות ל- ADAS (Advanced driver-assistance systems) ולרכבים אוטונומיים יכולות להישען בחלקם על הניסיון הישראלי הרב בתחום הצבאי ובתחום הגנת הסייבר (Bernhart & Ernst, 2018)
- ליצרני הרכב הגדולים בעולם כמו גם לחברות התוכנה הגדולות יש פעילות ענפה בישראל.

איור 69: פעילות חברות רכב בינלאומיות בישראל

		Technology scouting	Local investments	Local R&D center	
OEM	BMW				Several investments, e.g. Moovit
	Daimler				R&D center opened in Q4/2017, startup investments
	Fiat				Several collaborations with startups and regional dev.
	Ford				Invested in SAIPS, tech scouting activities
	GM				R&D center founded in 2008, today > 250 employees
	Hyundai				Plans R&D center, invested in Autotalks, Technion
	Renault				Launched USD 1 billion VC fund & innovation lab
	Seat				Tech scouting operation via Seat Xplora project
	Skoda				Invested in DRIVE, several other investments
	VW Group				Invested in cyber security, Gett, Tel Aviv Campus
OES	Bosch				Opened R&D center in 2016, invested in Anyvision
	Denso				R&D center focusing on AI and autonomous driving
	LG				R&D center for IoT, wellness devices, entertainment
	Plastic Omnium				Investment in Elbit Energy, POCeITech
	Samsung/Harman				R&D centers, some acquisitions by Harman

Original equipment manufacturer=OEM ,Original Equipment Supplier=OES

מקור: (Bernhart & Ernst, 2018)

11.10 נספחים

11.11 נספח א' - פירוט מענקי מחקר

ERC

Year	Researcher	Institute	Title	Budget
2018	Pablo Ernesto JOSELEVICH FINGERMAN	Weizmann Inst	High-Voltage Micro-Photovoltaic Cells and Photodetectors Based on Guided Nanowires for On-Chip Powering of Autonomous Microsystems	150 000 €
2017	Nathan Keller	BIU	New Directions in Lightweight Cryptanalysis	1 487 500 €

ISF (~ 300,000 NIS per year for 4 years)

2018	יוסף שור	BIU	לזרם ומתח קבוע bandgap reference מעגל בעל הספק של ננו וואט, עבור אינטרנט הדברים (IOT)	
------	----------	-----	---	--

- Alonso Raposo, M., Ciuffo, B., Ardente, F., Aurambout, J. P., Baldini, G., Braun, R., ... Vandecasteele, I. (2019). The future of road transport - Implications of automated, connected, low-carbon and shared mobility. <https://doi.org/10.2760/9247>
- Bernhart, W., & Ernst, C.-S. (2018). Israel's automotive and smart mobility industry: electrified, autonomous and intelligent. Retrieved from https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_israel_automotive_and_smart_mobility_final_131216.pdf
- Botta, A., Gallo, L., & Ventre, G. (2019). Cloud, fog, and dew robotics: architectures for next generation applications. Proceedings - 2019 7th IEEE International Conference on Mobile Cloud Computing, Services, and Engineering, MobileCloud 2019, 16–23. <https://doi.org/10.1109/MobileCloud.2019.00010>
- Burkacky, O., Deichmann, J., & Stein, J. P. (2019). Automotive Software and Electronics 2030. Retrieved from https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Automotive_and_Assembly/Our_Insights/Mapping_the_automotive_software_and_electronics_landscape_through_2030/Automotive-software-and-electronics-2030-vF.ashx
- Cheng, C. (2019). How AI at the Edge Is Defining Next-Generation Hardware Platforms | Design News. Retrieved December 10, 2019, from <https://www.designnews.com/electronics-test/how-ai-edge-defining-next-generation-hardware-platforms/183048850061875>
- Flemisch, F., Abbink, D., Itoh, M., & Pacaux-Lemoine, M.-P. (2019). Special issue on shared and cooperative control. *Cognition, Technology & Work*, 21(4), 553–554. <https://doi.org/10.1007/s10111-019-00607-x>
- Frost & Sullivan. (2019). Intelligent Connected Mobility Is Reaching an Inflection Point—A Data-centric Future Requires a Platform Approach. Retrieved from https://www.dellemc.com/resources/en-us/asset/white-papers/solutions/intelligent_connected_mobility_white_paper_frost_sullivan_and_dell_technologies.pdf
- Goasduff, L. (2019). Gartner Says 5.8 Billion Enterprise and Automotive IoT Endpoints Will Be in Use in 2020. Retrieved December 10, 2019, from <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-08-29-gartner-says-5-8-billion-enterprise-and-automotive-iot>
- Goldberg, K. (2019). Robots and the return to collaborative intelligence. *Nature Machine Intelligence*, 1(1), 2–4. <https://doi.org/10.1038/s42256-018-0008-x>
- ICRC. (2019). Autonomy, artificial intelligence and robotics: Technical aspects of human control, (August). Retrieved from <https://www.icrc.org/en/document/autonomy-artificial-intelligence-and-robotics-technical-aspects-human-control>
- Kusek, M. (2018). Internet of Things: Today and tomorrow. 2018 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2018 - Proceedings, 335–338. <https://doi.org/10.23919/MIPRO.2018.8400064>
- Luzeaux, D., & Ruault, J. R. (2013). Systems of Systems. *Systems of Systems*. <https://doi.org/10.1002/9781118557495>

Oteafy, S. M. A., & Hassanein, H. S. (2018). IoT in the Fog: A Roadmap for Data-Centric IoT Development. *IEEE Communications Magazine*, 56(3), 157–163.
<https://doi.org/10.1109/MCOM.2018.1700299>

Proff, H., Pottebaum, T., & Wolf, T. (2019). Autonomous Driving-Moonshot Project with Quantum Leap. <https://doi.org/10.1007/s41491-019-0029-8>

Strategy & (2019). The 2019 Strategy & Digital Auto Report. Retrieved from <https://www.strategyand.pwc.com/gx/en/insights/2019/digital-auto-report/digital-auto-report-2019.pdf>

Taivalaari, A., & Mikkonen, T. (2017). A Roadmap to the Programmable World: Software Challenges in the IoT Era. *IEEE Software*, 34(1), 72–80. <https://doi.org/10.1109/MS.2017.26>

Yaqoob, I., Khan, L. U., Kazmi, S. M. A., Imran, M., Guizani, N., & Hong, C. S. (2019). Autonomous Driving Cars in Smart Cities: Recent Advances, Requirements, and Challenges. *IEEE Network*, PP, 1–8. <https://doi.org/10.1109/mnet.2019.1900120>

Retrieved from בר, ר. (2019). ההשלכות המשקיות של כלי רכב אוטונומיים, חשמליים, מחוברים ושיתופיים. <http://economy.pmo.gov.il/CouncilActivity/Strategy/Documents/compressed.pdf>

Retrieved from גולדשמידט, ר. (2019). כלי רכב אוטונומיים – מדיניות ממשלתית, אתגרים והזדמנויות. https://fs.knesset.gov.il/globaldocs/MMM/71a3e69a-8180-e911-80fa-00155d0a754a/2_71a3e69a-8180-e911-80fa-00155d0a754a_11_13666.pdf

תעשייה וחדשנות



מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית

טל. 04-8292329 | פקס. 04-8231889
קרית הטכניון, חיפה 3200003
www.neaman.org.il