

מיפוי תוכניות לימודי המשך וחוץ לבוגרי אקדמיה בתחומי ה-STEM, וצרכי לימוד לאורך החיים בתחומים של טכנולוגיות

מוגש למועצה הלאומית למחקר ופיתוח משרד
החדשנות, המדע והטכנולוגיה

ציפי בוכניק

ורד גלעד

תמר דיין

ד"ר אביגדור זוננשיין

המועצה הלאומית
למחקר ופיתוח אזרחי

Israeli National Council for Civilian R&D



מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית



הון אנושי | 03/23





מיפוי תוכניות לימודי המשך וחוץ לבוגרי אקדמיה בתחומי ה-STEM, וצרכי לימוד לאורך החיים בתחומים של טכנולוגיות מפציעות

מוגש למועצה הלאומית למחקר ופיתוח
משרד החדשנות, המדע והטכנולוגיה

ציפי בוכניק

ורד גלעד

תמר דיין

ד"ר אביגדור זוננשיין

גרסה סופית | פברואר, 2023

המחקר נערך במימון ובהנחית המועצה הלאומית למחקר ופיתוח אזרחי
(המולמו"פ) במשרד החדשנות, המדע והטכנולוגיה.

ברצוננו להודות למולמו"פ על היוזמה ולד"ר ניל נמיר ולפרופ' ארנון בנטור,
מהמולמו"פ, על הערותיהם הטובות והבונות במהלך כתיבת הדו"ח.

אין לשכפל כל חלק מפרסום זה ללא רשות מראש ובכתב ממשרד המדע והטכנולוגיה ו/או ממוסד שמואל
נאמן מלבד לצורך ציטוט של קטעים קצרים במאמרי סקירה ופרסומים דומים תוך ציון מפורש של המקור.

הדעות והמסקנות המובאות בפרסום זה הן על דעת המחברים. ו/או אינן משקפות בהכרח את דעת מוסד

שמואל נאמן

תוכן עניינים

10	תקציר	10
15	הקדמה	15
17	חלק א: ניתוח מאגר תוכניות הלימוד לאורך החיים	17
18	1. מתודולוגית המיפוי	18
19	2. ניתוח המאגר	19
19	2.1 מוסדות ותוכניות הלימוד - כללי	19
21	2.2 תחומי ההכשרות לאורך החיים	21
22	2.3 סוג ההכשרה – שיפור או הסבה	22
24	2.4 סגנון הלימודים	24
24	2.5 היקף ההכשרה	24
25	2.6 סגל ההוראה בתוכניות LLL	25
27	2.7 התעודה בתוכניות LLL	27
27	2.8 אקרדיטציה- אבטחת איכות	27
28	2.9 הערכה למספר המשתתפים בתוכניות השונות בשלוש השנים האחרונות	28
30	3. ניתוח מוסדות מובילים בתוכניות תואמות LLL	30
30	3.1 טכניון	30
35	3.2 אוניברסיטת תל אביב	35
38	3.3 המכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון	38
40	3.4 CivilEng Academy	40
44	3.5 לשכת המהנדסים האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל	44
48	4. תשתיות ופלטפורמות קיימות ל-LLL	48
48	4.1 אתר עבודאטה	48
49	4.2 קמפוס IL	49
52	5. עיקרי הדברים והתובנות מראיונות עם אנשי מפתח בתחום ה-LLL	52
52	5.1 רשות החדשנות	52
54	5.2 זרוע העבודה במשרד הכלכלה - חדשנות, מחקר והייטק במנהל תעסוקת אוכלוסיות	54
55	5.3 הזירה ההנדסית טכנולוגית בישראל (רשות החדשנות - מאגד AI ולשכת המהנדסים)	55
57	5.4 חברת אלביט – חברה ביטחונית, גלובלית גדולה	57
58	5.5 חברת תדביק	58
58	5.6 אקדמיה – מכללות	58
59	5.7 בראודה	59
60	5.8 סיכום ותובנות מהראיונות	60
60	6. סיכום חלק א'	60
62	7. נספחים לחלק א	62
	7.1 נספח א' – רשימת הגופים שנסקרו למיפוי (כולל גופים שלא נכללו היות שלא עמדו בקריטריונים שהוגדרו לתוכניות LLL במחקר זה)	62

חלק ב' - אפיון צרכים לתחומי ידע חדשים להשלמה במגנונים של לימוד לאורך החיים 64

1. בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה 66

- 1.2 חברות בתחום הבינה המלאכותית בישראל 66
- 1.3 תחומי תואר/ ידע בסיסי רלבנטיים לתחומי בינה מלאכותית, 66
- מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה 68
- 1.4 צרכי התעשייה להכשרת כ"א באקדמיה, כפי שעלה מהראיונות שבוצעו במסגרת עבודה שבוצעה ע"י מוסד נאמן לבחינת צרכי כ"א 70
- 1.5 צרכי התעשייה להכשרות LLL לתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה 71
- 1.6 מצב קיים - הכשרות LLL לתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה 71
- 1.7 בהסתכלות קדימה, ההכשרות החדשות שיידרשו לעובדים בתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה 75
- 1.8 סיכום והמלצות למדיניות בהכשרות LLL לתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה 76

2. תעשייה 4.0 והנדסה דיגיטלית 81

- 2.1 רקע 81
- 2.2 חברות בתחום תעשייה 4.0 והנדסה דיגיטלית 85
- 2.3 תחומי תואר/ידע בסיסי רלוונטי בתחום תעשייה 4.0 87
- 2.4 צרכי התעשייה להכשרות LLL בתחום תעשייה 4.0 והנדסה דיגיטלית 89
- 2.5 מצב קיים - הכשרות LLL בתחום תעשייה 4.0 והנדסה דיגיטלית 90
- 2.6 השלמות נדרשות - פער בין הצרכים לקיים 92
- 2.7 סיכום ומסקנות 93
- 2.8 נספח א- ניתוח תשובות לשאלון בתחום תעשייה 4.0 והנדסה דיגיטלית 95

3. הדפסת תלת-מימד של חומרים מתקדמים, טכנולוגיות ויישומים 96

- 3.1 רקע 96
- 3.2 חברות בתחום הדפסת תלת מימד 97
- 3.3 תחומי תואר/ ידע בסיסי רלבנטיים להדפסה תלת-מימד של חומרים מתקדמים, טכנולוגיות ויישומים 98
- 3.4 צרכי התעשייה להכשרות LLL בתחום הדפסה תלת-מימד של חומרים מתקדמים, טכנולוגיות ויישומים 99
- 3.5 מצב קיים - הכשרות LLL בתחום תלת-מימד של חומרים מתקדמים, טכנולוגיות ויישומים 100
- 3.6 השלמות נדרשות - פער בין הצרכים לקיים 102
- 3.7 בהסתכלות קדימה, ההכשרות החדשות שיידרשו לעובדים בתחום: 102
- 3.8 סיכום 103
- 3.9 המלצות למדיניות בהכשרות LLL בתחום הדפסת תלת-מימד של חומרים מתקדמים, טכנולוגיות ויישומים 103
- 3.10 נספחים 104

4. ערים חכמות	106
4.1	רקע.....106
4.2	תוכניות לפיתוח תחום ערים חכמות בישראל.....108
4.3	הכשרת כוח אדם לעבודה בתחום ערים חכמות.....110
4.4	חברות בתחום ערים חכמות בישראל.....110
4.5	תחומי תואר/ ידע בסיסי רלבנטיים בתחום ערים חכמות.....111
4.6	מצב קיים - הכשרות LLL בתחום ערים חכמות.....112
4.7	צרכי התעשייה להכשרות LLL בתחום ערים חכמות.....113
4.8	מסקנות ותובנות לגבי צרכי כוח אדם לתחום ערים חכמות.....113
4.9	נספחים.....115
5. פוטוניקה ופוטוניקה משולבת	117
5.2	חברות בתחום פוטוניקה ופוטוניקה משולבת בישראל.....118
5.3	היתרונות של ישראל בתחום הפוטוניקה.....119
5.4	תחומי תואר/ ידע בסיסי רלבנטיים לתחום פוטוניקה ופוטוניקה משולבת.....120
5.5	צרכי הכשרה אקדמית לתחום הפוטוניקה.....122
5.6	צרכי התעשייה להכשרות LLL לתחום פוטוניקה ופוטוניקה משולבת.....123
5.7	מצב קיים - הכשרות LLL לתחום פוטוניקה ופוטוניקה משולבת.....124
5.8	המלצות למדיניות בהכשרות LLL לתחום פוטוניקה ופוטוניקה משולבת.....124
5.9	נספחים.....126
6. שילוב רב תחומי ביולוגיה, תוכנה והנדסה לעולם הרפואה (Bio - Convergence)	128
6.1	רקע.....128
6.2	יתרונותיה של ישראל בתחום.....129
6.3	חסמים וכשלי שוק.....129
6.4	חברות בתחום Bio - Convergence.....130
6.5	תחומי תואר/ ידע בסיסי רלבנטיים ל- Bio - Convergence.....131
6.6	צרכי התעשייה להכשרות LLL בתחום Bio - Convergence.....132
6.7	מצב קיים - הכשרות LLL בתחום Bio - Convergence.....134
6.8	השלמות נדרשות - פער בין הצרכים לקיים.....134
6.9	המלצות למדיניות בהכשרות LLL בתחום Bio - Convergence.....135
6.10	נספחים.....136
7. רפואה מדייקת וגנומיקה	137
7.1	רקע.....137
7.2	מערכות תומכות החלטות רפואיות המבוססות על Big Data.....138
7.3	תעשיית הגנומיקה והרפואה המותאמת אישית בישראל.....139
7.4	תשתיות בתחום רפואה מותאמת אישית.....141
7.5	תחומי תואר/ידע בסיסי רלוונטי בתחום רפואה מדייקת.....142
7.6	הכשרת כוח אדם לעבודה בתחום רפואה מדייקת.....142
7.7	צרכי התעשייה להכשרות LLL בתחום רפואה מדייקת וגנומיקה.....143
7.8	מצב קיים - הכשרות LLL בתחום רפואה מדייקת וגנומיקה.....143

7.9	מסקנות ותובנות לגבי צורכי כוח אדם לרפואה מדייקת וגנומיקה	143
7.10	נספחים	145

8. אגרוטק וחקלאות מדייקת.....146

8.1	רקע	146
8.2	אגרוטק בישראל	147
8.3	חברות בתחום אגרוטק וחקלאות מדייקת	149
8.4	תחומי תואר/ ידע בסיסי רלבנטיים לאגרוטק וחקלאות מדייקת	151
8.5	צרכי התעשייה להכשרות LLL בתחום אגרוטק וחקלאות מדייקת	153
8.6	מצב קיים - הכשרות LLL בתחום אגרוטק וחקלאות מדייקת	154
8.7	בהסתכלות קדימה, ההכשרות החדשות שיידרשו לעובדים בתחום	154
8.8	צרכי התעשייה להכשרות LLL בתחום אגרוטק וחקלאות מדייקת	155
8.9	סיכום והמלצות למדיניות בהכשרות LLL בתחום אגרוטק	155
8.10	נספחים	157

9. מקורות מזון אלטרנטיביים.....159

9.1	רקע	159
9.2	השוק העולמי למקורות מזון חדשים	160
9.3	תחום מקורות המזון האלטרנטיביים בישראל	160
9.4	תמיכה ממשלתית בתחום	161
9.5	מיפוי חברות בתחום מקורות מזון חדשים	162
9.6	היתרונות של ישראל בתחום המזון האלטרנטיבי	163
9.7	הכשרת כוח אדם לעבודה בתחום מקורות מזון חדשים	164
9.8	תחומי תואר/ ידע בסיסי רלבנטיים לתחום מקורות מזון אלטרנטיביים	166
9.9	צרכי התעשייה להכשרות LLL לתחום מקורות מזון אלטרנטיביים ובהסתכלות קדימה, הכשרות שיידרשו בעתיד	166
9.10	מצב קיים - הכשרות LLL לתחום מקורות מזון אלטרנטיביים	167
9.11	סיכום, מסקנות ותובנות לגבי צורכי כוח אדם לתחום	167
9.12	נספחים	169

10. אגירת אנרגיה.....171

10.1	רקע	171
10.2	חברות בישראל בתחום אגירת אנרגיה	174
10.3	תשתית אקדמית בתחום אגירת אנרגיה	175
10.4	תחומי תואר/ ידע בסיסי רלבנטיים לתחום אגירת אנרגיה	176
10.5	לימודים לתואר בתחום אגירת אנרגיה	176
10.6	צרכי התעשייה להכשרות LLL לתחום אגירת אנרגיה ובהסתכלות קדימה, הכשרות שיידרשו בעתיד	177
10.7	מצב קיים - הכשרות LLL לתחום אגירת אנרגיה	178
10.8	סיכום והמלצות למדיניות בהכשרות LLL לתחום אגירת אנרגיה	178
10.9	נספחים	180

11. הים כמשאב לאומי	182
11.1 רקע	182
11.2 חברות בתחום הים כמשאב לאומי	184
11.3 תחומי תואר/ידע בסיסי רלוונטי בתחומי הים כמשאב לאומי	184
11.4 צרכי התעשייה להכשרות LLL בתחום הים כמשאב לאומי	192
11.5 מצב קיים - הכשרות LLL בתחום הים כמשאב לאומי	193
11.6 השלמות נדרשות - פער בין הצרכים לקיים	194
11.7 סיכום ומסקנות	195
11.8 נספחים	196
12. תעשיית החלל	200
12.1 רקע	200
12.2 חברות בתחום החלל	203
12.3 תחומי תואר/ידע בסיסי רלוונטי בתחום החלל	205
12.4 צרכי התעשייה להכשרות LLL בתחום החלל	207
12.5 מצב קיים - הכשרות LLL בתחום החלל	208
12.6 השלמות נדרשות - פער בין הצרכים לקיים	208
12.7 סיכום ומסקנות	208
12.8 נספחים	210
13. תקשורת לוויינים	212
13.1 רקע	212
13.2 פעילותה של ישראל בתחום תקשורת הלוויינים	214
13.3 תעשייה בישראל בתחום של תקשורת לוויינים	215
13.4 הכשרות כוח אדם לעבודה בתחום תקשורת לוויינים	217
13.5 תחומי תואר/ידע בסיסי רלוונטי בתחום החלל - תקשורת לוויינים	218
13.6 צרכי התעשייה להכשרות LLL בתחום תקשורת לוויינים	218
13.7 מצב קיים - הכשרות LLL בתחום תקשורת לוויינים	219
13.8 השלמות נדרשות - פער בין הצרכים לקיים	219
13.9 סיכום ומסקנות	220
13.10 נספחים	221
14. סיכום חלק ב'	223
15. סיכום, מסקנות והמלצות כולל	238

רשימת טבלאות

- טבלה 1: רשימת המוסדות ומספר התוכניות לכל מוסד.....20
- טבלה 2: רשימת התחומים לפי סוג המוסד.....22
- טבלה 3: מקור סגל ההוראה לפי מוסד.....26
- טבלה 4: מספר המשתתפים ושיעור המענה מסך התוכניות אשר סיפקו את המידע, כשליש מהתוכניות (ללא תוכניות רפואה).....29
- טבלה 5: תוכניות ללימוד לאורך החיים הניתנות בטכניון.....31
- טבלה 6: תוכניות ללימוד לאורך החיים הניתנות באוניברסיטת תל אביב.....36
- טבלה 7: תוכניות ללימוד לאורך החיים הניתנות במכללת סמי שמעון.....39
- טבלה 8: תוכניות ללימוד לאורך החיים הניתנות במכללת CivilEng Academy.....41
- טבלה 9: תוכניות לימוד לאורך החיים הניתנות בלשכת המהנדסים האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל.....45
- טבלה 10: תכנית ההכשרות של רשות החדשנות.....54
- טבלה 11: רשימת הארגונים שנסקרו עבור המיפוי.....62
- טבלה 12: אוניברסיטאות ומכללות, תארים ומסלולים.....87
- טבלה 13: התכנים שנלמדים במסלולים השונים.....88
- טבלה 14: רשימת הנושאים ב Biotech Lifelong Learning כפי שניתנים ב- Technical University of Denmark.....133
- טבלה 15: סיכום מסקנות וממצאים על פי טכנולוגיות מפציעות.....226

רשימת איורים

- איור 1: מספר התוכניות שמופו לפי סוג המוסד.....19
- איור 2: ענן מילים לתחומי ההכשרות.....21
- איור 3: התפלגות מספר התוכניות לפי שיפור או הסבה בהשוואה בין סוגי מוסדות.....23
- איור 4: סגנון הלימוד לפי סוג מוסד.....24
- איור 5: התפלגות התוכניות לפי היקף השעות וסוג מוסד.....25
- איור 6: חברות בתחום הבינה המלאכותית לפי מספר עובדים.....67
- איור 7: הטכנולוגיות העיקריות של חברות תעשייתיות בבינה מלאכותית בישראל.....67
- איור 8: התפלגות מסלולים לפי סיווג - תואר ראשון.....70
- איור 9: התפלגות מסלולים לפי סיווג - תארים מתקדמים.....70
- איור 10: הטכנולוגיות שמניעות את המהפכה התעשייתית הרביעית.....82

85.....	איור 11: שיעור המודעות והיישום של חדשנות וטכנולוגיה בארגונים.....
85.....	איור 12: הטכנולוגיות העיקריות של חברות תעשייה 4.0 בישראל.....
86.....	איור 13: חלוקה של החברות לפי מספר עובדים, בתעשייה 4.0.....
86.....	איור 14: חברות בתחום תעשייה 4.0 בישראל לפי שנת הקמה.....
97.....	איור 15: הטכנולוגיות העיקריות של חברות תעשיות בתלת ממד בישראל.....
97.....	איור 16: חברות בתחום התלת מימד בישראל לפי שנת הקמה.....
98.....	איור 17: גודל החברות לפי מספר העובדים בחברה.....
140.....	איור 18: הטכנולוגיות העיקריות של חברות בתחום רפואה מדייקת.....
140.....	איור 19 : חברות בתחום רפואה מדייקת לפי מספר עובדים.....
150.....	איור 20: הטכנולוגיות העיקריות של חברות תעשייתיות באגרוטק בישראל.....
150.....	איור 21: חברות בתחום אגרוטק בישראל עד שנת 2022.....
151.....	איור 22: גודל החברות לפי מספר העובדים בחברה.....
162.....	איור 23: הטכנולוגיות העיקריות של חברות בתחום מקורות מזון אלטרנטיביים.....
163.....	איור 24: גודל החברות לפי מספר העובדים בחברה.....
203.....	איור 25: הטכנולוגיות העיקריות של חברות חלל בישראל.....
204.....	איור 26: חלוקה של החברות לפי מספר עובדים, בתחום החלל.....
204.....	איור 27: חברות בתחום החלל בישראל לפי שנת הקמה.....
215.....	איור 28: הטכנולוגיות העיקריות של חברות בתחום תקשורת לווינים.....
216.....	איור 29: חלוקה של החברות לפי מספר עובדים, בתקשורת לווינים.....

תקציר

לימוד לאורך החיים מהווה נדבך נוסף ב"שרשרת החינוך" המצטרף לנדבכים המוכרים של חינוך ראשוני, שניוני ושלישוני. לימוד לאורך החיים צריך להיות מטופל מתוך ראייה שעליו להקנות בכל שלב ידע, מיומנויות וכישורים, ומתוך הבנה שההכשרה והלימוד אינם מסתיימים בחינוך שניוני או שלישוני ויש צורך לאפשר לכל בוגרי ובוגרות מערכת ההשכלה את היכולת להמשיך ולהתקדם בין אם בלימוד עצמי ובין אם במוסד הכשרה מוכר, במהלך כל החיים המקצועיים, כדי להיות רלוונטיים לשוק עבודה שמשתנה כל הזמן.

בעולם קיימות אסטרטגיות שונות ללימוד לאורך החיים מה שמעיד על ההכרה הברורה בחשיבותו. במדינות מודרניות קיימת פעילות משמעותית בתחומים אלה, במיוחד בסקטורים העסקיים (תעשייה) והציבוריים (ארגונים מקצועיים) אך גם במוסדות אקדמיים, אוניברסיטאות ומכללות.

המועצה לאומית למחקר ופיתוח מעוניינת לקדם מתווה למדיניות לאומית בתחום לימוד לאורך החיים בישראל. הצורך בכך עלה על רקע הסביבה המשתנה בארץ ובעולם המתאפיינת בדינמיות רבה של שינויים טכנולוגיים, מלווים בשינויים חברתיים וכלכליים המשפיעים על שוק העבודה. קיימת מגמה של התהוות של עיסוקים חדשים עתירי טכנולוגיות וצורך בהתחדשות בעיסוקים קיימים כדי להבטיח פריון גבוה המאפשר הישרדות וצמיחה. לאור זאת, עולה הצורך בהמשך לימודים והרחבת ידע ומיומנויות על פני כל מחזור החיים המקצועי מעבר לקבלת הכשרה פורמלית במסגרת תואר אקדמי.

כדי לקדם מדיניות ומערך לאומי בתחום לימוד לאורך החיים יש צורך להכיר את כל הפעילויות הקיימות מחד ולהעריך את הצרכים המקצועיים מאידך, כך שניתן יהיה לקבל תמונה מלאה שתאפשר למנף את הקיים ולנתב אותו בצורה יעילה לצרכים המתפתחים.

העבודה שלהלן התבצעה במסגרת מכרז של המולמו"פ בנושא "מיפוי תוכניות לימודי המשך וחופץ לבוגרי אקדמיה בתחומי ה-STEM, וצרכי לימוד לאורך החיים בתחומים של טכנולוגיות מפציעות" שמוסד נאמן זכה בו.

לעבודה שני חלקים וסיכום מסקנות והמלצות:

- חלק א' כולל ניתוח מאגר תוכניות לימודי המשך וחופץ שנבנה במסגרת עבודה זו על ידי מיפוי הגופים המרכזיים בישראל המפעילים תוכניות כאלו לאקדמאים בתחומי ה-STEM.
- חלק ב' כולל מיפוי של צרכי תוכניות לימוד לאורך החיים ב-13 תחומים מפציעים – בכל תחום בוצע ניתוח של המצב הקיים, צרכי השוק והפער בהכשרת מנקודת מבט של לימוד לאורך החיים.
- על בסיס הניתוח והמיפוי מוצגות מסקנות והמלצות כבסיס להמשך עבודת המולמו"פ וגופים נוספים לקידום הקמת מערך לאומי ללימודים לאורך החיים במדינת ישראל.

במיפוי שבוצע בחלק א' של העבודה נמצאו 132 תוכניות לימודי המשך וחופץ במוסדות ובארגונים השונים, העונות לקריטריונים שנקבעו למחקר (קהל היעד הם בוגרי תואר ראשון ומעלה, לבוגרים מוענקת תעודה/אישור על ההכשרה וההרשמה לתוכנית פתוחה גם למועמדים מחופץ לארגון ומפורסמת במקורות גלויים).

הממצאים העיקריים מראים:

- 43% מהתוכניות ניתנות במסגרות מוסדות להשכלה גבוהה, 34% באוניברסיטאות ו-8% במכללות האקדמיות. 57% מהתוכניות ניתנות דרך מכללות פרטיות, ארגונים או חברות. הגופים המובילים במספר ההכשרות הם: טכניון (15); CivilEng Academy (15); לשכת המהנדסים האדריכלים

והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל (10); אוניברסיטת בן-גוריון (8) ואוניברסיטת תל אביב (8). לאור נתונים אלה, יש לשקול לקדם את נושא הכשרות LLL במסגרת המכללות האקדמיות.

- תחומי ההכשרות רובן בתחומי התוכנה, Data Science/Analysis, ניהול, מחשבים והייטק. תחומים אלה הינם תחומים רחביים ועונים לצורכי כ"א בתחומים וטכנולוגיות מתקדמות. יש לפעול לקידום הכשרות בתחומים יעודיים יותר כמו טכנולוגיות מפציעות המנותחות בעבודה זו.

- 58% מתוכניות לימודי המשך וחופץ שמופו מיועדות לשיפור (upskilling) של מיומנויות העובדים בתחומם ורק מיעוטן 13% להסבה מקצועית (reskilling). 28% מהתוכניות מיועדות גם לשיפור וגם להסבה. נכון שתכניות LLL יכללו תכניות הסבה ושיפור בהתאם לצרכים בכל תקופת זמן.

- 37% מסך תוכניות לימודי המשך וחופץ שמופו הן תוכניות קצרות, בהיקף של עד 50 שעות לימוד. בארגונים וחברות 64% מהתוכניות הן בהיקף זה בשל הזמן היקר של העובדים ונראה שגם המכללות התאימו עצמן להיקף זה של תוכניות. באוניברסיטאות לעומת זאת 80% מהתוכניות ארוכות יותר- רבע מהתוכניות הן מעל 400 שעות לימוד, דבר הנובע מאופיין השונה של התוכניות הנלמדות באוניברסיטאות. אורך ההכשרה הוא קריטריון חשוב, לכן, יש לבחון מה הוא ההיקף המיטבי בכל תחום להכשרות לאורך החיים.

- בכל המוסדות והארגונים שנסקרו סגל ההוראה ברובו מהתעשייה. באוניברסיטאות ובמכללות האקדמיות יש נטייה גדולה יותר לבסס לימודי המשך על הסגל האקדמי. בכל הקורסים ניתנת תעודה המעידה על סיום התוכנית/הקורס מטעם האוניברסיטה/ המכללה/ הארגון שבו נלמד הקורס. רק לגבי מיעוט מהתוכניות ניתן היה למצוא באתרי האינטרנט התייחסות לנושא אבטחת איכות ואקרדיטציה של התוכניות. מעורבות התעשייה בהכשרה בתוכן וכחלק מסגל ההוראה הוא חיוני.

- היקף מספר המשתתפים בתוכניות אינו גבוה¹ והוא עומד (ללא רפואה) על 6,189. מספר המשתתפים בתוכניות לימודי המשך וחופץ במכללות הפרטיות הוא הגבוה ביותר, כאשר 75% הם במכללה הפרטית SQLabs – המעבירה בעיקר תוכניות בתחום התוכנה, Data Science, Big Data, אינטליגנציה מלאכותית (AI), מערכות מידע, אינטרנט, ממשקי end-front וכד'. בין האוניברסיטאות הטכניות הוא המוביל הן במספר התוכניות והן במספר המשתתפים בתוכניות. מומלץ לפתח ולעודד תרבות למידה לאורך החיים (כפי שניתן במקצועות הרפואה) על מנת לעודד מעסיקים ועובדים להשתתף בהכשרות מתאימות ולשפר ולשדרג באופן מתמיד את איכות ההון האנושי.

בראיונות שנערכו עם אנשי מפתח מהאקדמיה, המגזר הממשלתי ומהמגזר העסקי על מנת לקבל מידע האם במגזרים השונים קיימת מדיניות וחשיבה בנושא, עלו הצרכים הבאים: 1. צורך בהכשרות של מיומנויות רכות/חיוניות (עבודת הצוות, ניהול הזמן, פתרון בעיות ובתקשורת הבין אישית). 2. צורך בהכשרה לבני +45. 3. צורך בבניית תוכניות LLL לאורך ציר זמן שיכללו התייחסות לרב תחומיות. חיוני לכלול ולעודד כווני הכשרות אלו בתכניות LLL.

בחלק ב של העבודה- אפיון צרכים לתחומי ידע חדשים להשלמה במנגנונים של תוכניות לימודים לאורך החיים (LLL), זהו 13 טכנולוגיות/ תחומי ידע מתקדמים ומפציעים במטרה לבחון את החפיפה בין צרכי התעשייה להכשרה בתחומים אלה ובין תוכניות לימודי המשך וחופץ המתקיימות כיום, ולאתר פערים כדי לעודד את המסגרות הקיימות ואחרות לתת להם מענה.

¹ הערכה של היקף מספר המשתתפים מתבסס על שליש מ-132 התוכניות שנסקרו. לימודי הרפואה הוחרגו מהערכה הכללית מאחר ונראה כי בתחומי הרפואה קיימות תוכניות הכשרה וכן הענות להן.

הטכנולוגיות ותחומי הידע שנכללו בעבודה הנוכחית הם: 1. בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה; 2. תעשייה 4.0 והנדסה דיגיטלית; 3. הדפסה תלת-מימד של חומרים מתקדמים, טכנולוגיות ויישומים; 4. ערים חכמות; 5. פוטוניקה ופוטוניקה משולבת; 6. שילוב רב תחומי ביולוגיה, תוכנה והנדסה לעולם הרפואה (Bio-Convergence); 7. רפואה מדייקת וגנומיקה; 8. אגרוטק וחקלאות מדייקת; 9. מקורות מזון אלטרנטיביים; 10. אגירת אנרגיה; 11. הים כמשאב לאומי; 12. תעשיית החלל; 13. תקשורת לוויינים.

עבור כל אחת מהטכנולוגיות ותחומי הידע נעשתה בחינה הכוללת התייחסות למרכיבים הבאים: רקע כללי על התחום, מצב התחום בישראל, מיפוי חברות בתחום בישראל, תחומי התואר הרלבנטיים לטכנולוגיה/תחום הידע בישראל, המצב הקיים כיום בתוכניות לימודי המשך וחוץ בתחום, צורכי התעשייה להכשרות בתחום וכאלה שיידרשו בעתיד. נתונים אלה היוו את הבסיס לכתיבת סיכום והמלצות להשלמת הפערים שנמצאו, באמצעות הכשרות במסגרות של לימוד לאורך החיים. הממצאים העיקריים לכל טכנולוגיה מוצגים בטבלה מסכמת בדוח זה (טבלה 16).

מחלק זה בעבודה עולה שלרוב, הפקולטות שבהן למדו העובדים המגיעים לעסוק בטכנולוגיות ובתחומי הידע המפציעים, לא נותנות הכשרה מספקת, אם בכלל, לתחומי הידע המפציעים, ולכן נדרשת הכשרה של העובדים במקומות העבודה. מראיונות שקיימנו ושאלונים שהעברנו למנהלי חברות העוסקות בטכנולוגיות מפציעות עולה שבמרביתן עיקר ההכשרות מתקיימות בתוך החברות עצמן (OJT), תוך סיוע של בעלי מקצוע מנוסים והתאמת הלמידה לפרויקטים ולדרישות התפקיד. בנוסף, הם נעזרים בהכשרות באמצעות קורסי אונליין.

המיפוי שערכנו בחלק א' של העבודה העלה שקיימות מעט מאוד תוכניות לימודי המשך וחוץ תואמות לטכנולוגיות/תחומי הידע המפציעים. ל-4 מתוך 13 התחומים (אגרוטק, תעשיית החלל, תקשורת לוויינים ואגירת אנרגיה) לא נמצאו כלל הכשרות תואמות LLL. לכל אחת מיותר 9 הטכנולוגיות/תחומי הידע, נמצאו בין 1-5 הכשרות תואמות LLL כמתכונת לימודי המשך וחוץ.

בית הספר ללימודי המשך בטכניון הינו הגוף שמבצע את מספר ההכשרות הרב ביותר לטכנולוגיות מפציעות. מתקיימות בו הכשרות לביו-קונברג'נס, רפואה מדייקת וגנומיקה, מקורות מזון אלטרנטיביים, הדפסת תלת מימד וערים חכמות. שני מוסדות אקדמיים נוספים שמקיימים הכשרות תואמות LLL במתכונת לימודי המשך וחוץ לטכנולוגיות מפציעות הם אוניברסיטת בן גוריון לבינה מלאכותית והאוניברסיטה העברית לביו-קונברג'נס.

גופים נוספים שמקיימים הכשרות בודדות הם: DSP-IP AI לבינה מלאכותית, בית הספר למצוינות Lean Israel בשיתוף התאחדות התעשיינים והאקדמיה היישומית להייטק - לתעשייה 4.0. לשכת המהנדסים, האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל, שנקר וסיסטמטיקס- להדפסת תלת מימד והרשות לחינוך והכשרה ימיים בעכו ובמכון לחקר הנדסה ימית לתחום הים כמשאב לאומי.

בחינת צורכי התעשייה בתוכניות לימודים לאורך החיים בטכנולוגיות המפציעות שמופו הן מעטות יחסית ולרוב לא תואמות את הצרכים להכשרות בתחום שהעלו המנהלים בתחומים אלה בתעשייה. בהרבה מהתחומים ההכשרות הנדרשות הן כתלות במקצוע היסוד שלמד העובד. בנוסף קיימות הכשרות שהועלו כנדרשות ע"י התעשייה במספר תחומי ידע.

לסיכום, מהעבודה הנוכחית עולה מחד הצורך במתן תוכניות לימודים לאורך החיים לעובדים אקדמיים במקצועות STEM ומאידיך המענה המועט הקיים בפועל להכשרות כאלה בכלל ובטכנולוגיות/תחומי ידע מפציעים בפרט. מכאן עולה הצורך לקדם מדיניות לאומית ללימודים לאורך החיים, לקביעת סדרי עדיפויות ומתן תקציבים ומנגנוני עידוד שיאפשרו ויקדמו את ביצוע המדיניות שתיקבע באוכלוסיות יעד הזקוקות לכך. על בסיס הניתוח והמיפוי מוצגות ההמלצות הבאות:

מסקנות עיקריות

לקדם את נושא האקרדיטציה האקדמית של הכשרות LLL. יש צורך במערך מוסכם, אחיד ושקוף של אקרדיטציה ואבטחת איכות



לבנות מערכת בקרה והבטחת איכות גמישה שתאפשר צבירה של התנסויות והכשרות של LLL שיזכרו ע"י מעסיקים



למפות ארגונים ותעשיות בעלי עניין להיות שותפים בחשיבה ובהפעלה של פעילויות LLL



לפתח הכשרות רוחביות שנמצאו כנדרשות לעובדים בתעשייה במספר תחומי ידע (לדוגמא: פייתון)



קידום סינרגיה ושותפות בין בעלי העניין בהכשרות LLL מעסיקים, אקדמיה, ארגונים מקצועיים



לשאוף שיתוסף ייעוד קידום LLL בתחומי התמחותם לגופי האקדמיה



כדאי לבחון פלטפורמות קיימות (כדוגמת קמפוס IL) ליישום מעשי ל LLL



לקבוע סדרי עדיפויות נדרשים בקידום LLL בהתאם לתרומה לכלכלה הלאומית ולעולם התעסוקה בישראל



לבחון באופן מתמיד ומתמשך כיווני הכשרה נוספים שיש בהם צורך בלימודי המשך לקהלי יעד שונים



על מנת לפתח את הכשרות ה- LLL הנדרשות לעובדים בתעשייה בטכנולוגיות/תחומי ידע מפציעים, יש צורך: להעביר את החומר שנאסף בעבודה זו למומחי ידע בכל אחד מהתחומים לגיבוש; לבחור ולעודד גופי הכשרה לביצוע ההכשרות בתחומים אלה; ליצור שת"פ בין כן המגזרים



לקדם ולפתח פדגוגיות למידה מתאימות ל LLL



לבחון הרחבת פעילות LLL במכללות לאור הגמישות הנדרשת, הקשר הצמוד שקיים לרוב עם התעשייה והפיזור הגאוגרפי



1. **למפות ארגונים ותעשיות בעלי עניין להיות שותפים בחשיבה ובהפעלה של פעילויות לימוד לאורך החיים.**
2. **לבנות מערכת בקרה והבטחת איכות גמישה שתאפשר צבירה של התנסויות והכשרות של LLL שיוכרו ע"י מעסיקים.**
3. **לקדם את נושא האקרדיטציה האקדמית של ההכשרות LLL.** יש צורך במערך מוסכם, אחיד ושקוף של אקרדיטציה והבטחת איכות. מערך כזה יקדם את איכות ההכשרות ויאפשר הכרה ברמת הידע והמיומנויות שנרכשו לצורך הרחבת אפשרויות התעסוקה וההתקדמות האישית במקומות העבודה.
4. **לפי עבודה זו מתקבל שגופי האקדמיה הם הפעילים ביותר בתחומי לימודי המשך וחוגי. נכון לשאוף שיתווסף ייעוד לגופי האקדמיה לקידום לימודים לאורך החיים בתחומי התמחותם.**
5. **קידום סינרגיה ושותפות בין בעלי העניין בהכשרות LLL מעסיקים, אקדמיה, ארגונים מקצועיים.**
6. **לפתח הכשרות שנמצאו כנדרשות לעובדים בתעשייה במספר תחומי ידע כגון: שפת פייתון, מערכות ERP מתקדמות, עיבוד אותות, IoT - אינטרנט של הדברים, אלגוריתמיקה, איסוף וניתוח נתונים (ביג דאטה) ויישומי AI, הכשרות בטכניקות מתקדמות (self-labeling, adversary training) וטכניקות שימוש באימונים כלליים (כמו GPT), תכנון מתקדם באמצעות מחשב (תיב"ם), מערכות QA דיגיטליות ורובוטיקה מתקדמת.**
7. **לבחון באופן מתמיד ומתמשך כיווני הכשרה נוספים שיש בהם צורך בלימודים לאורך החיים לקהלי יעד שונים.**
8. **מיפוי הצרכים בתחומי ידע מפציעים שבוצע במסגרת העבודה הנוכחית, מצביע על סדרי עדיפויות נדרשים בקידום LLL בהתאם לתרומה לכלכלה הלאומית ולעולם התעסוקה בישראל.**
9. **הפלטפורמה של קמפוס IL רחבה ופתוחה לכולם. כדאי לבחון הרחבת הפלטפורמה ליישום מעשי ל LLL כדי להתאים שימוש בה להכשרות לימוד לאורך החיים.**
10. **הפלטפורמות האקדמיות התואמות ל- LLL הן באוניברסיטאות אך יש מקום לבחון את הרחבת הפעילות בתחומים אלה במכללות לאור הגמישות הנדרשת בקידום תוכניות LLL והקשר הצמוד יותר עם התעשייה וכן גם לאור הנוכחות הגיאוגרפית הרחבה שלהן שיש בו פוטנציאל לקשר קרוב יותר עם צרכני ה LLL.**
11. **לקדם ולפתח פדגוגיות למידה מתאימות ל LLL. בהקשר זה יש לתת את הדעת על החלק הגדול יותר של תוכניות מקוונות שקיימות במכללות יחסית לאוניברסיטאות וכן לפוטנציאל למעורבות גדולה יותר של האוניברסיטה הפתוחה שאופי פעולתה מתאים ל LLL.**
12. **על מנת לפתח את הכשרות ה- LLL הנדרשות לעובדים בתעשייה בטכנולוגיות/תחומי ידע מפציעים, יש צורך:**
 - להעביר את החומר שנאסף בעבודה זו למומחי ידע בכל אחד מהתחומים לצורך גיבוש והמלצה על מספר נושאים מרכזיים בעלי עדיפות גבוהה לפיתוח הכשרות LLL.
 - לבחור ולעודד גופי הכשרה לביצוע ההכשרות בתחומים אלה.
 - לפתח ולעודד הכשרות בשיתוף עם מומחי ידע בתחומים השונים ובשיתוף חברות שעוסקות בכל אחד מהתחומים על מנת לוודא שההכשרות יענו על צרכי התעשייה בכל אחד מהתחומים.

הקדמה

המערכת החינוכית נמצאת כיום בפתח של שינוי ומעבר, אולי אפילו מהפכה, כתוצאה מתהליכים העוברים על המדע, הטכנולוגיה והחברה. שתי מהפכות בולטות הן מהפיכת הידע והמידע - זמינות הידע והיקפו שגדל בקצב אקספוננציאלי, והמהפכה התעשייתית הרביעית - מהפיכה המחייבת בעלי מקצוע להיות בעלי מנעד רחב של כישורים. במסגרת מהפיכות אלה יש צורך במיוחד ביכולת לאינטגרציה של טכנולוגיות ודינמיות להתעדכנות ולהסתגלות לטכנולוגיות וצרכים חדשים המשתנים בקצב מהיר מזה שהכרנו בעבר. כל אלה משנים באופן דרסטי את שוק התעסוקה אשר יחייב את בעלי המקצוע לשדרג, לשנות ולעיתים אף להחליף את עיסוקם ותחומי התמחותם מספר פעמים במהלך הקריירה המקצועית שתמשך על פני עשרות שנים.

לימוד לאורך החיים (LLL) הוגדר על ידי ה-UN כ"כל פעילויות הלמידה המתבצעות במהלך החיים, במטרה לשפר את הידע, המיומנויות והיכולת במסגרת פרספקטיבה אישית, אזרחית, חברתית ו/או הקשורה לתעסוקה" (הנציבות האירופית, 2001; עמ' 29). בשנת 2011, עודכנה ההגדרה ל"למידה לכל החיים המכסה למידה מגיל הגן ועד לאחר הפרישה. למידה למבוגרים היא מרכיב חיוני ברצף הלמידה לאורך החיים, המכסה את כל מגוון פעילויות הלמידה הפורמליות, הלא פורמליות, הבלתי פורמליות, כלליות ותעסוקתיות, המתבצעות על ידי מבוגרים לאחר עזיבת החינוך וההכשרה הראשונית².

החשיבות של קידום לימוד לאורך החיים בחברה המודרנית הנה ברורה ובאה לידי ביטוי בדוחות ובמחקרים (למשל מקורות^{3,4,5}) והיא גם מוצאת ביטוי בדיונים בפורומים שונים בארץ ובהם הפורום של מוסד שמואל נאמן לחינוך מהנדסים במאה ה-21, ובדו"ח של מבקר המדינה⁶.

לימוד לאורך החיים צריך להיות מטופל מתוך ראייה של כל שרשרת החינוך, החל מיילדות, דרך בתי הספר והאקדמיה. יש כיום מאמץ לאומי לתת על כך את הדעת בכל מרכיבי השרשרת, מתוך ראייה שעליה להקנות בכל שלב ידע, מיומנויות וכישורים, ומתוך הבנה שההכשרה והלימוד אינם מסתיימים בחינוך שניוני או שלישוני ויש צורך לאפשר לכל בוגרי ובוגרות המערכת את היכולת להמשיך ולהתקדם בין אם בלימוד עצמי ובין אם במוסד הכשרה מוכר, במהלך כל החיים המקצועיים, כדי להיות רלוונטיים לשוק עבודה שמשתנה כל הזמן.

יש צורך בבחינה מחודשת של "שרשרת החינוך", אשר לימוד לאורך החיים (Lifelong Learning LLL) מהווה בה נדבך נוסף המצטרף לנדבכים המוכרים של חינוך ראשוני, שני ושלישוני. יש כיום אסטרטגיות שונות בעולם לקידום הנושא של LLL למרות ההכרה הברורה בחשיבותו הן לא. יתרה מכך, אין גם גישה כוללת להכשרה של בוגרי מערכות הלימוד הפורמליות ללימוד לאורך החיים וההבנה שהיכולת ל-LLL מותנית בהתבססות על נדבכים של תשתיות של חינוך מוקדם, בעיקר שניוני ושלישוני, שאמורים להקנות את היסודות הנדרשים להמשך ההתפתחות האישית. במסגרת האקדמיה מתחילה להתפתח כיום ההכרה שיש צורך בחשיבה מחודשת ובפיתוח של אסטרטגיה שנועדה לכלול את הנושא של ה-LLL כחלק משמעותי בליבה של יעוד

² Council of the European Union (2011). Council Resolution on a renewed European agenda for adult learning 2011/C 372/01 . [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011G1220\(01\)&from=IT](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011G1220(01)&from=IT)

³ Global Skills Trends, Training Needs and Lifelong Learning Strategies for the Future of Work Report prepared by the ILO and OECD for the G20 Employment Working Group 2nd Meeting of the Employment Working Group, Geneva, Switzerland, 11 – 12 June 2018

⁴ *Defining the skills citizens will need in the future world of work, McKinzie Report, June 2021*

⁵ לימוד לאורך החיים (Lifelong Learning, LLL) : מסמך רקע לסיפור מוחות לקידום מודלים ותוכניות לאומיות להכשרה, ארגון בנטור, אביגדור זוננשיין, ראובן כץ, גילי פורטונה, תמר דיין, מוסד שמואל נאמן, יוני 2021

⁶ למידה לאורך החיים והכשרה מקצועית למבוגרים, דו"ח מבקר המדינה 71'ב' 2021

האוניברסיטאות בתחום החינוך⁷. ניצנים לגישה כזו ניתן למצוא באוניברסיטאות מובילות כגון: אוניברסיטת ג'ורג'יה טק; אוניברסיטת הרווארד; MIT ועוד. במסגרת עבודה שנעשתה במוסד נאמן (בנטור ואחרים, 2020)⁸, נבחנו מודלים להכשרה במסגרות של LLL בארץ ובעולם, במערכות פרטיות וציבוריות, תוך התייחסות גם למערכות של הבטחת איכות ואקדיטציה. במדינות מודרניות קיימת פעילות משמעותית בתחומים אלה, במיוחד בסקטורים העסקיים (תעשייה) והציבוריים (ארגונים מקצועיים) אך גם במוסדות אקדמיים, אוניברסיטאות ומכללות.

כדי לקדם מדיניות ומערך לאומי בתחום לימוד לאורך החיים מן הראוי להכיר את כל הפעילויות הקיימות מחד ולהעריך את הצרכים המקצועיים מאידך, כך שניתן יהיה לקבל תמונה מלאה שתאפשר למנף את הקיים ולנתב אותו בצורה יעילה לצרכים המתפתחים. המועצה לאומית למחקר ופיתוח מעוניינת לקדם מתווה למדיניות לאומית בתחום לימוד לאורך החיים. הצורך בכך עלה על רקע הסביבה המשתנה בארץ ובעולם המתאפיינת בדינמיות רבה של שינויים טכנולוגיים, מלווים בשינויים חברתיים וכלכליים המשפיעים על שוק העבודה בדרכים שלא הכרנו בעבר. אלה באים לידי ביטוי בין השאר בדעיכה של מקומות תעסוקה מחד וצמיחה של חדשים ובצורך בהתחדשות בעיסוקים קיימים כדי להבטיח פרויקט גבוה המאפשר הישרדות וצמיחה. כדי להתמודד עם סביבה משתנה זו, למזער סיכונים ולמנף הזדמנויות, יש צורך בהתחדשות מתמשכת של ההון האנושי, בכלל העיסוקים, אך במיוחד בעיסוקים שמהווים את הכוח המניע בסקטור העסקי והציבורי, שהם בדרך כלל מאפיינים את בוגרי האקדמיה. לאור זאת, עולה הצורך בחברה שבה הלימוד איננו מסתיים עם קבלת הכשרה פורמלית קצובה בזמן (בגרות, תואר אקדמי ראשון, שני או שלישי), אלא יש צורך בהמשך לימודים והרחבת ידע ומיומנויות על פני כל מחזור החיים המקצועי. החשיבות של הצורך הזה הולכת וגדלה על רקע של התיישנות הידע והמיומנויות (חצי משך חיים של ידע שנע בין 3 לכ-10 שנים בתלות בתחום) בהשוואה למשך החיים התעסוקתי הנמשך על פני עשרות שנים, עד גיל הפנסיה ומעבר, שהוא עצמו הולך וגדל.

עבודה זו מבוצעת במסגרת מרכז של המולמו"פ בנושא "השחקנים והצרכים של "לימוד לאורך החיים" בישראל (L.L.L- Life Long Learning) שמוסד נאמן זכה בו.

לעבודה שני חלקים וסיכום מסקנות והמלצות:

- חלק א' כולל ניתוח מאגר תוכניות LLL שנבנה במסגרת עבודה זו על ידי מיפוי הגופים המרכזיים בישראל המפעילים תוכניות ללימוד לאורך החיים לאקדמיים בתחומי ה-STEM, בין כפעילות העומדת בפני עצמה או כפעילות שהיא חלק מהארגון שמיועדת לקהל הרחב ל- upskilling (שיפור) ו- reskilling (הסבה) של ההון האנושי של הארגון עצמו.
- חלק ב' כולל מיפוי של צרכי LLL ב-13 תחומים מפציעים – בכל תחום בוצע ניתוח של המצב הקיים, צרכי השוק והפער בהכשרת מנקודת מבט של לימוד לאורך החיים (LLL).
- על בסיס ניתוח ומיפוי זה מוצגות מסקנות והמלצות כבסיס להמשך עבודת המולמו"פ וגופים נוספים לקידום הקמת מערך לאומי ללימודים לאורך החיים במדינת ישראל.

⁷ בנטור ארנון, זוננשיין אביגדור, כץ ראובן, פורטונה גלעד, דיין תמר. לימוד לאורך החיים חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2020. <https://www.neaman.org.il/Life-Long-Learning>

⁸ בנטור ארנון, זוננשיין אביגדור, כץ ראובן, פורטונה גלעד, דיין תמר. לימוד לאורך החיים חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2020. <https://www.neaman.org.il/Life-Long-Learning>

חלק א: ניתוח מאגר תוכניות הלימוד לאורך החיים

1. מתודולוגית המיפוי⁹

המיפוי של תוכניות LLL נועד לתת תמונת מצב עדכנית של תוכניות LLL המוצעות כיום בישראל. המיפוי התבצע בחודשים ספטמבר עד דצמבר 2022 והתמקד בתוכניות וקורסים בנושא **STEM** ורפואה. המועברים במוסדות אקדמיים (אוניברסיטאות ומכללות אקדמיות מוכרות¹⁰), במכללות ציבוריות ופרטיות, בארגונים ובחברות.

הקריטריונים להיכלל במאגר שנקבעו לתוכנית LLL במחקר הנוכחי היו:

1. קהל היעד - בוגרי תואר ראשון ומעלה.
2. לבוגרים מוענקת תעודה/אישור (או אקרדיטציה על ההכשרה).
3. ההרשמה לתוכנית פתוחה גם למועמדים מחוץ לארגון ומפורסמת במקורות גלויים.

נערכה בחינה של אתרי האינטרנט של לימודי המשך בכל האוניברסיטאות, המכללות האקדמיות הציבוריות והפרטיות, ושל תוכניות שפתוחות להרשמה הניתנות על-ידי ארגונים וחברות בארץ. באוניברסיטאות ובמכללות נבחנו בנוסף תוכניות הניתנות על-ידי פקולטות הנדסיות (מיקרו תואר).

במסגרת המיפוי נסקרו כ-90 מוסדות (פרוט המוסדות שנסקרו מופיע בנספח 1). ב-35 מוסדות מתוכם נמצאו תוכניות/קורסים של לימוד לאורך החיים העומדים בקריטריונים שהוגדרו לעיל והוכנסו למאגר.

נבנה מאגר במתכונת אקסל של התוכניות הרלבנטיות. המאגר כולל את המידע שניתן היה למצוא במקורות גלויים לגבי כל אחת מהתוכניות: תחום התוכנית, האם זו תוכנית הסבה (reskilling) או העמקה (upskilling), משך התוכנית, כוח ההוראה, מספר המשתתפים, התעודה הניתנת בסיום התוכנית והאם מתקיים במסגרת התוכנית שת"פ עם התעשייה.

בנוסף, נשלח מייל לראשי התוכניות שבו ביקשנו מהם את הנתון של מספר המשתתפים בתוכניות בשלוש השנים האחרונות, היות שנתון זה לא הופיע במקורות גלויים. ההיענות שקיבלנו הייתה חלקית.

עם מספר ראשי תוכניות נערכו ראיונות טלפוניים.

כל האיורים והטבלאות בפרק זה הוכנו על ידי מוסד נאמן על בסיס מאגר התוכניות שנבנה נכון ליום 31/1/2023.

⁹ ניתוח המאגר נכון ל-31/01/2023
¹⁰ מכללות מוכרות שיכולות להעניק תארים אקדמיים שמוכרים ע"י המליג

2. ניתוח המאגר

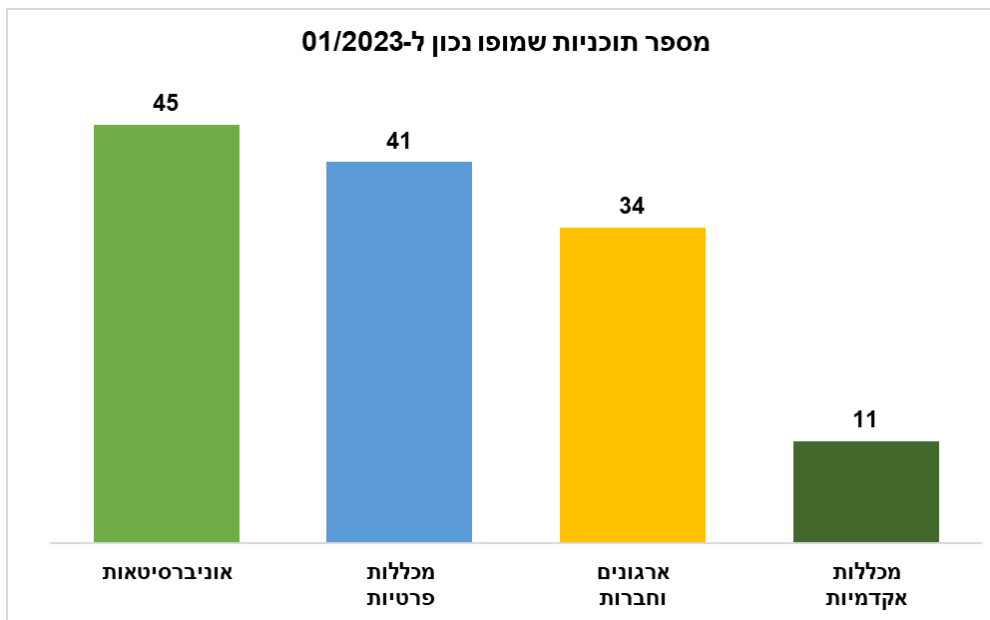
2.1 מוסדות ותוכניות הלימוד - כללי

במיפוי שבוצע נכון ל-31/01/2023 נמצאו 132 תוכניות במתכונת LLL במוסדות ובארגונים השונים, העונות לקריטריונים שנקבעו למחקר זה. התפלגות התוכניות לפי מוסדות מוצגת באיור 1 וטבלה 2. באוניברסיטאות נמצא מספר התוכניות הגדול ביותר (45). הטכניון (15), אוניברסיטת בן גוריון (8) ואוניברסיטת ת"א (8) מובילות במספר תוכניות ה-LLL הנלמד באוניברסיטאות. סקירה של המכללות האקדמיות הטכנולוגיות העלתה, שרק בשבע מכללות נלמדים תוכניות או קורסים של LLL (היקף התוכניות במכללות הינו פחות מרבע מאשר באוניברסיטאות). במכללות האקדמיות נמצאו 11 תוכניות, כאשר מחצית מהתוכניות הן של המכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון (5) ובשאר המכללות נמצאה רק תוכנית אחת לכל מכללה שעונה לקריטריונים.

במכללות הפרטיות נלמדות מספר תוכניות ה-LLL, השני בגודלו אחרי האוניברסיטאות (41). שתי המכללות המובילות במספר תוכניות ה-LLL הן: CivilEng Academy ענף הבנייה (15 תוכניות) ו-SQLabs (8 תוכניות). המכללות הפרטיות בדר"כ עוסקות בתחום אחד לדוגמה SQLabs מבית SQLink מתמחות בעיקר במחשבים והייטק או CivilEng Academy מתמחה בענף הבנייה.

ארגון נוסף שבולט במספר תוכניות ה-LLL הנלמדות בו הוא 'לשכת המהנדסים האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל' שבו נלמדות 10 תוכניות. בארגונים לרוב ניתנים קורסים בודדים המיועדים למהנדסים ולא תוכניות.

איור 1: מספר התוכניות שמופו לפי סוג המוסד



טבלה 1 : רשימת המוסדות ומספר התוכניות לכל מוסד

מספר תוכניות	סוג ושם המוסד
45	אוניברסיטאות
15	טכניון
8	אוניברסיטת בן-גוריון
8	אוניברסיטת תל אביב
3	אוניברסיטת אריאל
3	אוניברסיטת בר אילן
2	אוניברסיטת רייכמן (הביו-תחומי)
2	האוניברסיטה הפתוחה
2	אוניברסיטה העברית
2	אוניברסיטת חיפה
11	מכללות אקדמיות
	(מכללות מוכרות שיכולות להעניק תארים אקדמיים שמוכרים ע"י המל"ג.)
5	SCE המכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון
1	עזריאלי - מכללה אקדמית להנדסה
1	המרכז האקדמי רופין
1	המכון הטכנולוגי חולון HIT
1	מכללת אפקה
1	המכללה האקדמית כנרת
1	המכללה האקדמית להנדסה בראודה
41	מכללות פרטיות
15	CivilEng Academy
8	SQLabs מבית SQLink
6	NAYA Academy
3	Experis Academy
2	ITC.Tech - Israel Tech Challenge
2	DSP-IP AI
2	היחידה ללימודי חוץ
1	Infinity Labs R&D
1	עמותת בוגרי 8200
1	עמותת טק-קריירה
31	ארגונים
10	לשכת המהנדסים האזרחיים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל
5	ארגון המהנדסים והאזרחיים העצמאיים בישראל
3	התאגדות מהנדסי החשמל, האלקטרוניקה והאנרגיה SEEEI
3	איגוד המהנדסים לבנייה ולתשתיות
2	הזנק לעתיד
1	עמותת אלזהראוי
1	צופן מרכזי טכנולוגיה עילית
1	TAKWIN
1	סיראג' - לקידום הייטק בחברה הבדואית
1	המועצה הישראלית לבנייה ירוקה
1	התאחדות התעשיינים
1	מונה - האקדמיה היישומית להייטק
1	מנהיגות עסקית צעירה
3	חברות
1	Elbit Systems Academy
1	EMG Soft Training
1	חברת NESS
132	סה"כ תוכניות

2.2 תחומי ההכשרות לאורך החיים

תחומי ההכשרות הדומיננטיים ביותר בהכשרות תואמות ה-LLL שמופו, כפי שניתן לראות באיור 2 ובטבלה 3, הם:

- תוכנה (23 תוכניות)- נלמדות בכל סוגי המוסדות כאשר רוב התוכניות נלמדות בארגונים ובמכללות הפרטיות. התוכניות בתחום Data Science/Analysis (11 תוכניות) הנושק לתחומי התוכנה נלמדות במכללות הפרטיות ובאוניברסיטאות. וקיים מספר לא מבטל של תוכניות בתחום זה.
- ניהול (10 תוכניות) – בתחום זה נכללו תוכניות ניהול המיועדות למהנדסים ואקדמאים מתחום ה-STEM לצורך הכשרתם לניהול (upskilling). התוכניות הן בנושאי: ניהול פרויקטים, ניהול מו"פ והיבטים בניהול טכנולוגיה וחדשנות. רוב התוכניות מוצעות ע"י ארגונים. קיימות גם תוכניות ניהול לתחומים ספציפיים כמו: ניהול בתחום הבניין (9 תוכניות)- אשר נלמדות במכללת CivilEng Academy – שהינה מכללה פרטית שבה ניתן ללמוד תוכניות וקורסים במגוון התחומים והמקצועות בענף הבנייה.
- רפואה ובריאות (8 תוכניות) – ברוב האוניברסיטאות המלמדות רפואה יש יחידה ללימודי המשך ברפואה. תחום זה נלמד רק באוניברסיטאות.
- תשתיות ותחבורה (8) - תחום זה כולל תוכניות העשרה למהנדסי בניין כגון: תכנון תחבורה ציבורית, תכן מסעות והתמודדות עם אתגרים בעולם התת קרקע. קורסים בתחום זה מועברים בשני מוסדות עיקריים: בטכניון ובמכללה הפרטית CivilEng Academy.
- את התחומים הבאים ניתן ללמוד רק באוניברסיטאות: רפואה ובריאות; צבירה/מאסטר טראק; טכנולוגיה וחדשנות; UX; הנדסת איכות; הנדסת מערכות רפואיות; למידת מכונה/בינה מלאכותית; מדעי המחשב; מידענות; פיתוח שבבים ומעבדים.

איור 2: ענן מילים לתחומי ההכשרות¹¹



¹¹ בענן המילים גודל הפונט מייצג את דומיננטיות התחום.

טבלה 2: רשימת התחומים לפי סוג המוסד

תחום	אוניברסיטאות	מכללות אקדמיות	מכללות פרטיות	ארגונים וחברות	סה"כ
תוכנה	6	2	7	8	23
Data Science/Analysis	4		7		11
ניהול	1	1		8	10
ניהול- בבניין			9		9
מחשבים והייטק		1	7	1	9
בניין	1	1	5	1	8
רפואה ובריאות	8				8
תשתיות ותחבורה	3	1	3	1	8
בינה עסקית	3		2		5
חשמל		1		3	4
ייצור מתקדם	1	1		2	4
סייבר	2			1	3
סביבה	1	1		1	3
צבירה/מאסטר טראק	3				3
טכנולוגיה וחדשנות	2			1	3
מערכות מידע	2		1		3
הדפסת תלת מימד	1			1	2
הנדסת מערכת				2	2
פיתוח שבבים ומעבדים	1				1
ביומיקרי				1	1
מדעי המחשב	1				1
הנדסת מערכות רפאיות	1				1
UX	1				1
למידת מכונה/בינה מלאכותית	1				1
מידענות	1				1
בנייה ירוקה				1	1
הנדסת איכות	1				1
בקרים מתוכנתים		1			1
ניתוח סיכונים בתעשייה				1	1
אנרגיה		1		5	1

2.3 סוג ההכשרה – שיפור או הסבה

חלק מהתוכניות הן תוכניות שיפור וחלק הן תוכניות הסבה. מקנזי¹² מגדירים:

- **Reskilling** (הסבה) רכישת מיומנות חדשה - כאשר אדם בונה מיומנות אחרת או מערך מיומנויות שונה כדי להיות מסוגל לבצע בתפקיד שונה או מתפתח משמעותית.
- **Upskilling** (שיפור) העלאת מיומנות - כאשר אדם רוכש ידע ברמה גבוהה יותר של כישורים במיומנות או במערך מיומנויות כדי לבצע טוב יותר בתפקיד הנוכחי.

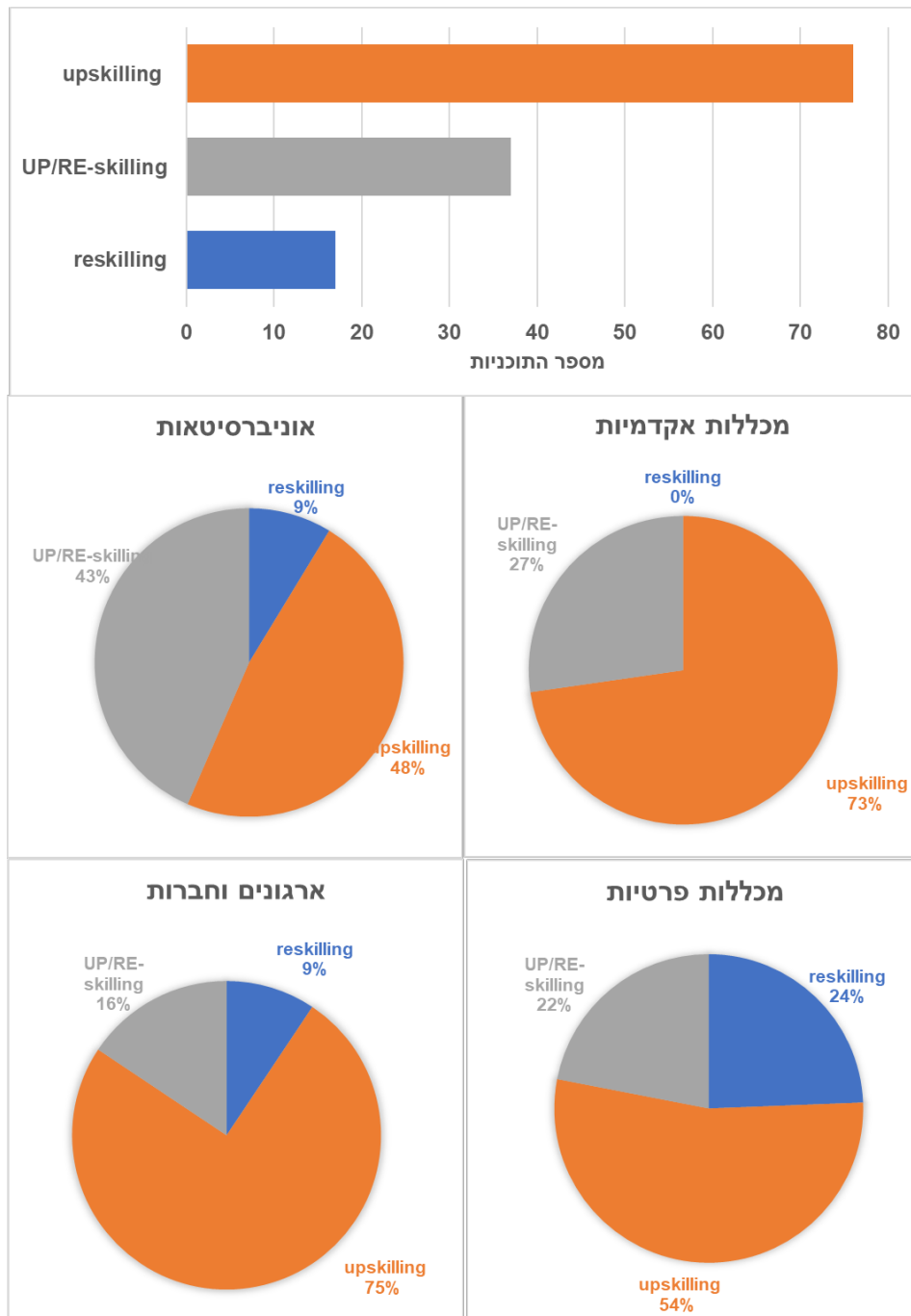
¹² <https://www.mckinsey.com/capabilities/people-and-organizational-performance/our-insights/the-organization-blog/piecing-together-the-talent-puzzle-when-to-redeploy-upskill-or-reskill>

לא תמיד ניתן לדעת האם התוכניות הן מיועדות לשיפור ולהסבה. לעיתים זה תלוי במיומנות ובידע של העובד ולעיתים שייכנו תוכניות ככאלה שהן גם לשיפור וגם להסבה.

58% מתוכניות ה-LLL שמופּו מיועדות לשיפור upskilling של מיומנויות העובדים בתחומם ורק מיעוטן 13% להסבה מקצועית reskilling. 28% הן תוכניות המיועדות גם לשיפור וגם להסבה.

בחינה לפי מגזרים מראה שבשלושת המגזרים, אוניברסיטאות, מכללות אקדמיות וחברות וארגונים מעט מאוד מהתוכניות הן למטרות של הסבה (reskilling), כאשר במכללות האקדמיות לא מצאנו כלל תוכניות מסוג זה. יוצא הדופן הן המכללות הפרטיות שבהן 25% מהתוכניות הן להסבה reskilling, 25% הסבה ושיפור ורק מחצית התוכניות (50%) מיועדות לשיפור.

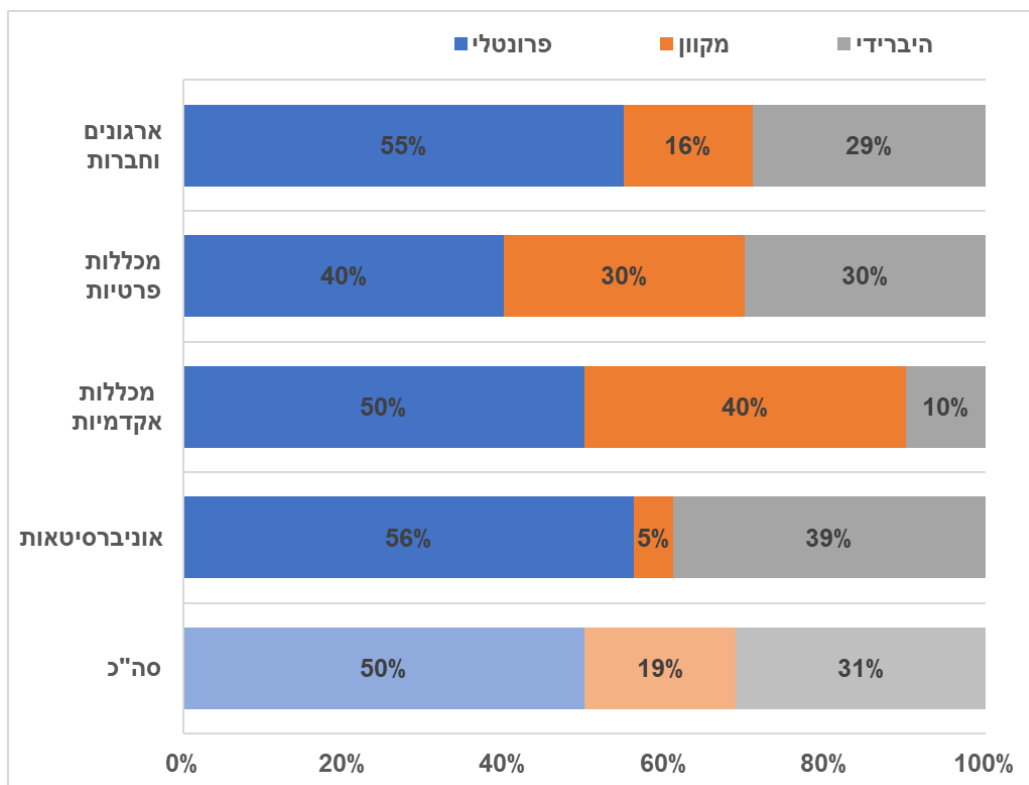
איור 3: התפלגות מספר התוכניות לפי שיפור או הסבה בהשוואה בין סוגי מוסדות



2.4 סגנון הלימודים

תקופת מגפת הקורונה הפכה את האפשרות ללימודים באופן מקוון ליישומית על יתרונותיה וחסרונותיה של שיטת לימוד זו. בנוסף, תוכניות LLL מיועדות ברובן לאוכלוסייה של אנשים עובדים שלרוב לומדים במסגרת עבודתם או בנוסף לה ולכן היינו מצפים שיותר תוכניות יהיו מוצעות בזום או באופן הברידי. בפועל התמונה המצטיירת בשטח הינה שבכל המוסדות והארגונים שמופו קיימת העדפה של לימודים פרונטליים והאפשרות ללימודים באופן הברידי ניתנת בשליש מהתוכניות. יוצאות מכלל זה הן המכללות האקדמיות שבהן 40% מהקורסים ניתנים באופן מקוון.

איור 4: סגנון הלימוד לפי סוג מוסד

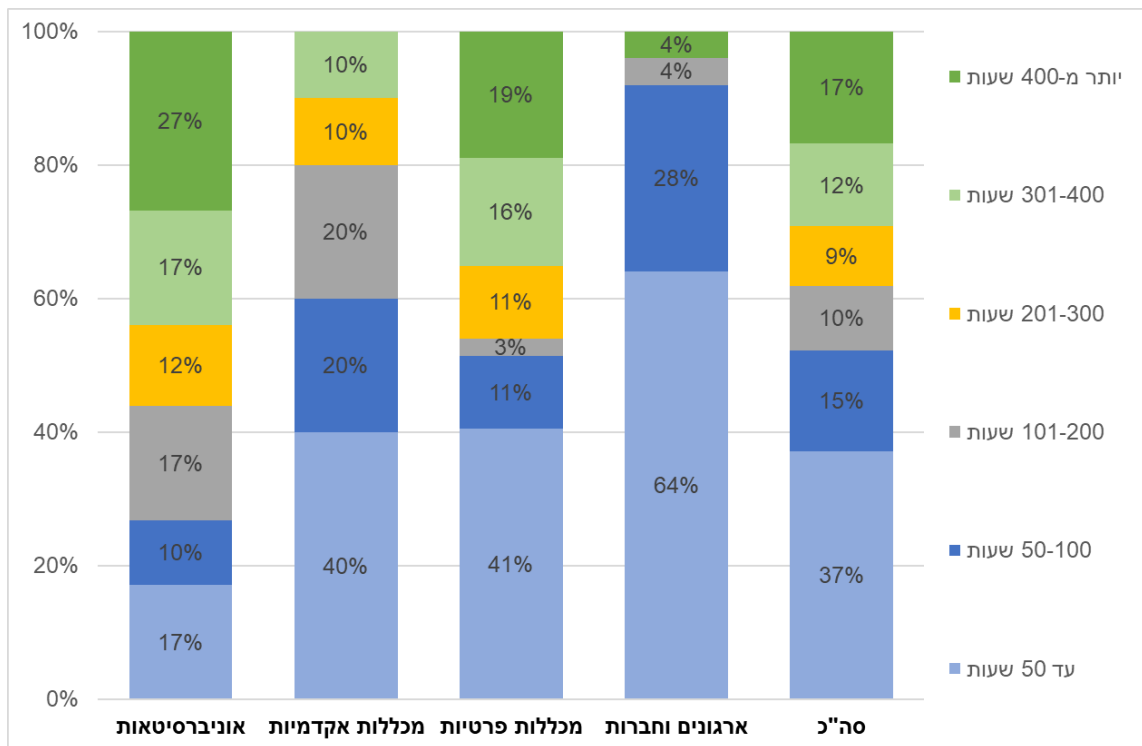


2.5 היקף ההכשרה

37% מתוכניות ה-LLL שמופו הן תוכניות קצרות, בהיקף של עד 50 שעות לימוד. בארגונים וחברות 64% מהתוכניות הן בהיקף זה בשל הזמן היקר של העובדים ונראה שגם המכללות התאימו עצמן להיקף זה של תוכניות. באוניברסיטאות לעומת זאת 80% מהתוכניות ארוכות יותר ורבע מהתוכניות הן מעל 400 שעות לימוד, דבר הנובע מאיפיון שונה של התוכניות הנלמדות באוניברסיטאות.

בניתוח היקף ההכשרה עפ"י תחומים ניתן לראות תחומים שבהם מוצעות תוכניות בהיקף מגוון של מ-50 שעות לימוד עד יותר מ-400 שעות לימוד, לבחירת המעוניינים ללמוד אותן בהתאם לצורכיהם (תוכנה, בינה עסקית, מחשבים והייטק, מערכות מידע, סייבר, Data Science/Analysis ורפואה ובריאות), וזאת לעומת תוכניות בנושאים ממוקדים שמוצעות בהיקף שעות אחד (כגון: הדפסת תלת מימד (100-200 שעות), בקרים מתוכנתים (עד 50 שעות), הנדסת מערכות רפואיות (מעל 400 שעות)).

איור 5: התפלגות התוכניות לפי היקף השעות וסוג מוסד



2.6 סגל ההוראה בתוכניות LLL

ניתן לראות שמכיוון שתוכניות תואמות LLL מיועדות לאנשים שעובדים, סגל ההוראה רובו מהתעשייה. באוניברסיטאות רק בכ-30% מהתוכניות סגל ההוראה הוא רק מהאקדמיה. בשאר התוכניות משולב סגל הוראה מהתעשייה, עם ניסיון תעשייתי, מנהלים בגופים מובילים במשק ומומחים בתחום. במכללות האקדמיות יש תוכניות שבהן סגל ההוראה הוא רק מהתעשייה, באחרות רק מהאקדמיה ותוכניות בהן סגל ההוראה משולב מהאקדמיה ומהתעשייה. במכללות הפרטיות בכ-75% מהתוכניות מלמד סגל הוראה מהתעשייה. בארגונים וחברות רוב המרצים מהתעשייה (כ-60%) ובמיעוטם משולבים מרצים מהאקדמיה או מומחים.

טבלה 3 : מקור סגל ההוראה לפי מוסד

אחוז	מספר התוכניות	סגל הוראה
100%	46	אוניברסיטאות
30%	12	מהאקדמיה
33%	13	מהאקדמיה ומהתעשייה
13%	5	מהאקדמיה עם נסיון תעשייתי
10%	4	מרצים המאושרים ע"י המוסד
8%	3	מומחים בתחום
5%	2	מהאקדמיה בארץ ומחול
3%	1	מומחים מהארץ ומחול
	6	אין התייחסות
100%	11	מכללות אקדמיות
43%	3	מהאקדמיה
29%	2	מהאקדמיה ומהתעשייה
29%	2	מהתעשייה
	4	אין התייחסות
100%	41	מכללות פרטיות
74%	29	מהתעשייה
15%	6	מהאקדמיה
8%	3	מומחים בתחום
3%	1	עורך דין
	2	אין התייחסות
100%	31	ארגונים וחברות
36%	9	מהתעשייה
24%	6	מרצים מתוך הארגון או החברה
20%	5	מהאקדמיה ומהתעשייה
16%	4	עורך דין
4%	1	מהאקדמיה
	9	אין התייחסות

2.7 התעודה בתוכניות LLL

בכל הקורסים שנכללו בסקר ניתנת תעודה המעידה על סיום התוכנית/הקורס מטעם האוניברסיטה/המכללה/ הארגון שבו נלמד הקורס. בחלק מהתוכניות/קורסים ניתנת גם תעודה מטעם גוף שמכיר בקורס כגון: משרד התחבורה, משרד המשפטים-מועצת שמאי מקרקעין, משרד העבודה, הרווחה והשירותים החברתיים, המועצה הישראלית לבניה ירוקה, חברת סייטק, גוגל, SAP ועוד.

2.8 אקרדיטציה- אבטחת איכות¹³

רק לגבי מיעוט מהתוכניות ניתן היה למצוא באתרי האינטרנט התייחסות לנושא אבטחת איכות ואקרדיטציה של תוכניות ה-LLL.

תוכניות המאפשרות לגשת למבחני הסמכה והכרה בקורסים בהמשך לימודים אקדמאיים נלמדות באוניברסיטאות. תוכניות/קורסים המעניקים הסמכה נלמדים בעיקר באוניברסיטאות וכן במכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון וביחידה ללימודי חוץ.

להלן דוגמאות לתוכניות קורסים שצוינה לגביהם אקרדיטציה:

תוכניות המאפשרות לגשת למבחני הסמכה:

שתי תוכניות בטכניון:

- התוכנית המקיפה לאבטחת סייבר וענן - ידע המאפשר לגשת למבחני הסמכות בינלאומית.
- הנדסת איכות- בוגרי התוכנית יוכלו לגשת לבחינות ההסמכה לתעודת Certified Quality Engineer מטעם האיגוד הישראלי לאיכות ומטעם האיגוד האמריקאי לאיכות.

תוכניות/קורסים המעניקים הסמכה:

- תוכנית בהנדסת מסילה בטכניון- מוכרת ע"י רשם המהנדסים והאדריכלים לרישום בענף הנדסה אזרחית – מדור מסילות ברזל.
- קורס מנהלי עבודה בבניין במכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון- תעודת "מנהל עבודה" בבנייה ובנייה הנדסית המוכר ע"י משרד העבודה.
- קורס ממונה אנרגיה במכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון- תעודה מטעם של משרד האנרגיה, המסמיכה לתפקיד ממונה אנרגיה.
- בלימודי אבטחת מידע וסייבר באוניברסיטה העברית- זכאות לתעודת ההסמכה CISO
- קורס מחשוב ענן באוניברסיטת בן גוריון- תלמידים שיעברו את בחינת ההסמכה הרשמית של AWS יקבלו את הסמכת ה Cloud Practitioner של AWS.
- הכשרה והשמה למיישמי ומטמיעי מערכות ERP של SAP באוניברסיטת אריאל- תעודת הסמכה לניהול יישום והטמעת מערכות SAP – ERP מטעם היחידה ללימודי חוץ של אוניברסיטת אריאל, כרמי ידע וחברת SAP ישראל.
- ביחידה ללימודי חוץ- קורס מנהלי עבודה למהנדסים והנדסאים- תעודה מטעם מינהל הבטיחות והבריאות התעסוקתית במשרד העבודה, המאפשרת להתמנות ולשמש כמנהל עבודה בענף הבנייה, בהתאם לתקנות הבטיחות בעבודות בנייה 1988.

¹³ נושא האקרדיטציה לא נבחן לגבי תוכניות רפואה

הכרה בקורסים בהמשך לימודים אקדמיים:

- בלימודי צבירה באוניברסיטאות- אם וכאשר יתקבל הלומד ללימודים אקדמיים באוניברסיטה בכפוף לעמידה בכל תנאי הקבלה ובהתאם לתוכנית
- לימודי תעודה במקצועות החומרה באוניברסיטת בר אילן- קרדיט אקדמי במרבית הקורסים המוצעים בתוכנית.
- WebDev -Academic Bootcamp framework באוניברסיטת רייכמן- בוגרי התוכנית שימצאו מתאימים לכך יוכלו להמשיך ללמוד לתואר ראשון במדעי המחשב באוניברסיטת רייכמן, תוך הכרה בנקודות הזכות.

רישום בפנקס/ ברשימת מורשים:

- מסלול להכשרת מנתחי סיכונים בתעשייה התהליכית בלשכת המהנדסים האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל- רישום בפנקס מנתחי סיכונים תהליכיים של לשכת המהנדסים.
- קורס מורשה נגישות במכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון- רשאים להירשם ברשימת המורשים לנגישות מבנים תשתיות וסביבה. כמו כן, תינתן להם הזכות לפעול במסגרת הליכי תכנון, רישוי בנייה ועסקים, במוסדות לחינוך והשכלה גבוהה.

2.9 הערכה למספר המשתתפים בתוכניות השונות בשלוש השנים האחרונות

במסגרת המחקר על מנת לבחון מה היקף הלומדים בתוכניות תואמות LLL, נשלחה לכל התוכניות במאגר בקשה לקבלת מספר המשתתפים בתוכניות בשלוש השנים האחרונות. מתוך 132 תוכניות שנסקרו רק שליש מהתוכניות נתנו את הנתון המבוקש. טבלה 4 מציגה את מספר המשתתפים במוסדות שענו ושיעור המענה מסך התוכניות השייכות לאותו סוג מוסד¹⁴.

תוכניות המשך בתחומי הרפואה הוחרגו מהטבלה מכיוון שמצאנו שבתחום זה קיימות מערכות מתאימות העונות לצרכי המקצוע. מצאנו כי בטכניון בבית ספר ללימודי המשך מתקדמים ברפואה מתקיימות תוכניות מתקדמות במגוון נושאים ותחומיות. גם באוניברסיטת תל אביב במרכז האקדמי ללימודי המשך ברפואה מתקיימות תוכניות בין תחומיות, תחומיות, פרה-קליניים ולימודים מתקדמים לאנשי מקצועות הבריאות והרפואה ולימודים קליניים למתמחים, בתחומים מגוונים מאד. במדינות מסוימות רופאים מחויבים להשתתף בתוכניות ללימודי המשך על מנת לחדש את הרישיון המקצועי שלהם. בישראל אין מחויבות כזה, למרות זאת נראה כי הרופאים משתתפים בתוכניות מאין אלה. הטכניון ואוניברסיטת תל אביב הן מובילות בלימודי המשך ברפואה ומדעי הבריאות (13,340 משתתפים). בטכניון למדו 2600 רופאים ובאוניברסיטת תל אביב מעל ל- 10,000 סטודנטים בשלוש השנים האחרונות.

מספר משתתפים (ללא רפואה) עמד על 6,189. מספר המשתתפים בתוכניות תואמות LLL במכללות הפרטיות הוא הגבוה ביותר, כאשר 75% הם במכללה הפרטית SQLabs – המעבירה בעיקר תוכניות בתחום התוכנה, Big Data, Data Science, אינטליגנציה מלאכותית (AI), מערכות מידע, אינטרנט, ממשקי end-front וכד'.

בין האוניברסיטאות, הטכניון הוא המוביל הן במספר התוכניות והן במספר המשתתפים בתוכניות LLL (ללא רפואה), 15 תוכניות בנושאים מגוונים עם 1817 משתתפים.

¹⁴ * התובנות הן על בסיס התשובות שנתקבלו בלבד נכון ל-5/1/23

טבלה 4: מספר המשתתפים ושיעור המענה מסך התוכניות אשר סיפקו את המידע, כשליש מהתוכניות (ללא תוכניות רפואה)

מוסד	מספר משתתפים	שיעור המענה מסך התוכניות
אוניברסיטאות	2334	57%
טכניון	1817	33%
אוניברסיטת חיפה	360	4%
אוניברסיטת אריאל	123	7%
אוניברסיטת תל אביב	34	13%
מכללות אקדמיות	125	18%
מכללת אפקה	100	9%
המכללה האקדמית להנדסה בראודה	25	9%
מכללות פרטיות	3640	29%
SQLabs	2750	20%
Infinity Labs R&D	600	2%
DSP-IP AI	250	5%
עמותת בוגרי 8200	40	2%
ארגונים	50	6%
סיראג' - לקידום הייטק בחברה הבדואית	30	3%
התאחדות התעשיינים	20	3%
חברות	40	67%
חברת NESS	25	33%
Elbit Systems Academy	15	33%
סה"כ	6,189	33%

3. ניתוח מוסדות מובילים בתוכניות תואמות LLL

בפרק זה בחרנו להציג בהרחבה ניתוח של המוסדות המובילים במספר תוכניות תואמות LLL. הפרק כולל: באוניברסיטאות את הטכניון (15) ואוניברסיטת בן-גוריון (8); במכללות האקדמיות את המכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון; במכללות הפרטיות את המכללה CivilEng Academy; ובארגונים את לשכת המהנדסים האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל.

3.1 טכניון

בטכניון 15 תוכניות, כולן ניתנות דרך המסגרת של בית ספר ללימודי המשך. התחומים הנלמדים הינם: סייבר; הדפסת תלת מימד; Data Science/Analysis; מידענות; בינה עסקית; תוכנה; מערכות מידע; תשתיות ותחבורה; הנדסת איכות; צבירה/מאסטר טראק; רפואה ובריאות. רוב התוכניות הן בתחומי מחשבים והייטק – נושאים כגון: Big data, סייבר, Science Data ופיתוח תוכנה. בנוסף, בטכניון קיימת אפשרות ללימודי צבירה ולימודי קדם. תוכניות אלה מאפשרות צבירת נקודות מתוך תוכנית הלימודים של תארים מתקדמים (מוסמכים) המיועדת רק לבעלי תואר ראשון. המאפיינים משתנים בהתאם לקורסים הנלקחים. הלימודים מתקיימים בקורסים של הפקולטות עצמן והשלמת הקורס מזכה בנקודות והכרה ללימודים לתארים מתקדמים.

רוב התוכניות (63%) הן תוכניות המיועדות לשיפור – upskilling, 13% הן תוכניות שיפור או הסבה ורק 13% הן תוכניות הסבה בלבד.

רוב התוכניות (53%) היקפן הוא בין 100-300 שעות, 20% היקפן יותר מ-400 שעות. רק 15% הן תוכניות בהיקף של פחות מ-100 שעות.

למרות משבר הקורונה ששינה את אופני הלימוד לתקופת המשבר, רוב התוכניות (80%) מועברות בצורה פרונטלית, 13% מועברים בצורה היברידית ואין כלל תוכניות המועברות באופן מקוון.

ברוב הקורסים כוח ההוראה הוא סגל מרצים מומחים מהאקדמיה, בארבע תוכניות צוין כי המרצים הם גם מהאקדמיה וגם מהתעשייה, בשלוש תוכניות סגל המרצים הוא מהאקדמיה עם ניסיון תעשייתי, בשלוש תוכניות צוין כי המרצים מאושרים על ידי הטכניון ובשתי תוכניות המרצים הם מהאקדמיה מהארץ ומח"ל.

בבית הספר ללימודי המשך מתקדמים ברפואה למדו בשלוש השנים האחרונות 2600 תלמידים ועוד 350 תלמידים בתוכנית קנאביס רפואי, מספרים המעידים כי היקף משמעותי של לימוד לאורך החיים מתקיים בתחומי הרפואה. בתוכניות בתחומים אחרים למדו 1750 משתלמים במהלך שלוש השנים האחרונות.

ברוב התוכניות התעודה המוענקת הינה תעודה מטעם הטכניון – היחידה ללימודי חוץ כאשר אין מערך אקדמי צבירה ברור. בתוכנית ללימודי צבירה, שהיא שונה במטרתה ובאופייה, הקורסים מוכרים להמשך לימודים לתואר אקדמי. התכנית בהנדסת מסילה מוכרת ע"י רשם המהנדסים והאדריכלים לרישום בענף הנדסה אזרחית – מדור מסילות ברזל. בשתי תוכניות: אבטחת סייבר וענף הנדסת איכות סיום הלימודים מאפשרים לגשת למבחני הסמכה בינלאומיים.

ברוב התוכניות לא קיימים שת"פ עם התעשייה. קיימים שיתופי פעולה עם משרדים ממשלתיים. שתי תוכניות: אבטחת סייבר והדפסת תלת מימד שהן בשיתוף רשות החדשנות. השיתוף מוצא ביטוי גם בסבסוד שכר הלימוד. גם בתחום התחבורה קיים שיתוף פעולה עם משרד התחבורה והמכון לחקר התחבורה בטכניון. תוכנית שיכולה להוות דוגמה לשיתוף פעולה היא התוכנית בתחום מדעי החיים – "קנאביס רפואי - יזמות טכנולוגית ועסקית, השלכות רפואיות ושיטות גידול". התוכנית הוא יוזמה של חברת Shizim והיחידה ללימודי המשך שחברו להקמת תוכנית לניהול ויזמות במדעי החיים.

טבלה 5: תוכניות ללימוד לאורך החיים הניתנות בטכניון

מספר המשתתפים בשלוש השנים האחרונות	ש"פ	שיטת הלימוד	מימון ועלות הקורס	תנאים לסיום וקבלת תעודה	אקרדיטציה/אבטחת איכות	סוג תעודה	כוח ההוראה	משך התוכנית	UP/RE-skilling	תחום מרכזי	התוכנית
24 מחזור ראשון נפתח באוקטובר 2022	בשיתוף הרשות לחדשנות	היברידי	התכנית קיבלה את תמיכת רשות החדשנות	חובת נוכחות ב-80% מהמפגשים עמידה בהצלחה במטלות התוכנית	ידע המאפשר לגשת למבחני הסמכות בינלאומית	תעודת סיום מטעם הטכניון לימודי המשך	מהאקדמיה ומהתעשייה	יותר מ-400	UP/RE-skilling	סייבר	התכנית המקיפה לאבטחת סייבר וענן היחידה ללימודי המשך ולימודי חוץ
26	בשיתוף הרשות לחדשנות	פרונטלי	התכנית זכתה לסבסוד בשכר הלימוד מטעם רשות החדשנות	אין מידע	אין מידע	אין מידע	מהאקדמיה ומהתעשייה	100-200	upskilling (שיפור)	הדפסת תלת מימד	דיגיטליזציה והדפסה בתלת מימד היחידה ללימודי המשך ולימודי חוץ
145		פרונטלי	אין מידע	אין מידע	אין מידע	הסמכה יוקרתית של הטכניון	מרצים המאושרים ע"י מוסד הטכניון	100-200	upskilling (שיפור)	Data Science/Analysis	הכשרת חוקרי נתונים Big Data Analyst היחידה ללימודי המשך ולימודי חוץ
203		פרונטלי	אין מידע	אין מידע	אין מידע	תעודת סיום מטעם הטכניון לימודי המשך	מרצים המאושרים ע"י מוסד הטכניון	201-300	upskilling (שיפור)	Data Science /Analysis	Technion Data Science היחידה ללימודי המשך ולימודי חוץ
108		פרונטלי	אין מידע	אין מידע	אין מידע	אין מידע	מידענים ואנליסטים	100-200	reskilling (הסבה)	מידענות	מודיעין עסקי ומידענות היחידה ללימודי המשך ולימודי חוץ

מספר המשתתפים בשלוש השנים האחרונות	ש"פ	שיטת הלימוד	מימון ועלות הקורס	תנאים לסיים וקבלת תעודה	אקרדיטציה/אבטחת איכות	סוג תעודה	כוח ההוראה	משך התוכנית	UP/RE-skilling	תחום מרכזי	התוכנית
268		פרונטלי	אין מידע	קיימת חובת נוכחות ב-80% מהמפגשים, ועמידה במטלות התוכנית.	אין מידע	לעומדים בדרישות התוכנית תוענק תעודה מטעם הטכניון – היחידה ללימודי חוץ.	מרצים המאושרים ע"י מוסד הטכניון	100-200	upskilling (שיפור)	בינה עסקית	מפתחי בינה עסקית BI היחידה ללימודי המשך ולימודי חוץ
34		פרונטלי	אין מידע	לעומדים בדרישות התוכנית תוענק תעודה	אין מידע	תעודה מטעם הטכניון – היחידה ללימודי המשך	מהאקדמיה עם ניסיון תעשייתי	301-400	reskilling (הסבה)	תוכנה	פיתוח והנדסת תוכנה TCSD היחידה ללימודי המשך ולימודי חוץ
218		פרונטלי	אין מידע	אין מידע	אין מידע	אין מידע	מהאקדמיה עם ניסיון תעשייתי	יותר מ-400	UP/RE-skilling	מערכות מידע	ניתוח מערכות מידע היחידה ללימודי המשך ולימודי חוץ
כ-2600		פרונטלי	אין מידע	לעומדים בדרישות הקורס (80% נוכחות) תוענק תעודת סיום מטעם הטכניון	אין מידע	תעודת סיום מטעם הטכניון	אין התייחסות	עד 100	upskilling (שיפור)	רפואה ובריאות	בית ספר ללימודי המשך מתקדמים ברפואה בית ספר ללימודי המשך מתקדמים
כ-240		צבירה			הכרה בקורסים להמשך לימודים	הכרה בקורסים להמשך לימודים	אין התייחסות	צבירה	UP/RE-skilling	צבירה/מאסטר טראק	לימודי צבירה למקצועות מתקדמים (מוסמכים) בית ספר ללימודי המשך מתקדמים

מספר המשתתפים בשלוש השנים האחרונות	ש"פ	שיטת הלימוד	מימון ועלות הקורס	תנאים לסיים וקבלת תעודה	אקדיטציה/אבט חת איכות	סוג תעודה	כוח ההוראה	משך התוכנית	UP/RE-skilling	תחום מרכזי	התוכנית
49	המסלול בשיתוף משד התחברה והבטיחות בדרכים, הרשות הארצית לתחברה ציבורית ונתיבי איילון 6 מלגות לנציגי/ות רשויות מקומיות	היברידי	אין מידע	חובת נוכחות של 80% בכלל המפגשים חובת הגשת 100% תרגולים והשתתפות פעילה בשיעורים ציון עובר בפרויקט (75 ומעלה)		תעודה מטעם הטכניון לימודי המשך	מהאקדמיה ומהתעשייה	100-200	upskilling (שיפור)	תשתיות ותחברה	תכנון תחברה ציבורית בית ספר ללימודי המשך מתקדמים קדם-תשתיות
29		פרונטלי	אין מידע	חובת נוכחות של 80% מהמפגשים. השתתפות פעילה בשיעורים. עמידה בהצלחה בבחינות ובחובות האקדמאיות		לעומדים בדרישות התוכנית תוענק תעודת גמר של הטכניון – היחידה ללימודי המשך ולימודי חוץ ותעודה מטעם משרד התחברה.	מהאקדמיה בארץ ובחול ומובילי תחום	100-200	upskilling (שיפור)	תשתיות ותחברה	תכנית בהנדסת מערכות רכבתיות בהתמחות נייד ROLLING STOCK בית ספר ללימודי המשך מתקדמים קדם-תשתיות
83	התוכנית בשיתוף המכון לחקר התחברה בטכניון ומשרד התחברה.	פרונטלי			התוכנית מוכרת ע"י רשם המהנדסים והאדריכלים לרישום בענף הנדסה אזרחית – מזור מסילות ברזל.	תעודה מטעם הטכניון לימודי המשך	מהאקדמיה בארץ ובחול	201-300	upskilling (שיפור)	תשתיות ותחברה	תכנית בהנדסת מסילה בית ספר ללימודי המשך מתקדמים קדם-תשתיות

מספר המשתתפים בשלוש השנים האחרונות	ש"פ	שיטת הלימוד	מימון ועלות הקורס	תנאים לסיום וקבלת תעודה	אקרדיטציה/אבטחת איכות	סוג תעודה	כוח ההוראה	משך התוכנית	UP/RE-skilling	תחום מרכזי	התוכנית
350		פרונטלי	אין מידע	אין מידע	אין מידע	אין מידע	מהאקדמיה ומהתעשייה	עד 50	upskilling (שיפור)	רפואה ובריאות	קנאביס רפואי - יזמות טכנולוגית ועסקית, השלכות רפואיות ושיטות גידול בית ספר ללימודי המשך מתקדמים קדם - ביומד
		פרונטלי	אין מידע	עמידה בדרישות התוכנית	בוגרי התוכנית יוכלו לגשת בסופו לבחינות ההסמכה לתעודת Certified Quality Engineer מטעם האיגוד הישראלי לאיכות ומטעם האיגוד האמריקאי לאיכות.	תעודת סיום מטעם הטכניון - היחידה ללימודי המשך ולימודי חוץ.	מהאקדמיה עם ניסיון תעשייתי	יותר מ-400	upskilling (שיפור)	הנדסת איכות	הנדסת איכות בית ספר ללימודי המשך מתקדמים קדם - לימודי ניהול, יזמות ושיווק/ביומד

3.2 אוניברסיטת תל אביב

באוניברסיטת תל אביב 8 תוכניות, הניתנות דרך יחידות שונות. 5 מתוך 8 התוכניות שמופּו הן תוכניות בתחומי הרפואה והן ניתנות דרך המרכז האקדמי ללימודי המשך ברפואה. קיימות 3 תוכניות בתחומים נוספים: טכנולוגיה וחדשנות הנלמד בפקולטה למשפטים; מדעי המחשב דרך הפקולטה למדעים מדויקים ומדעי המחשב; תוכנית לצבירה/מאסטר טראק דרך הפקולטה להנדסה.

רוב התוכניות (75%) הן תוכניות המיועדות לשיפור – upskilling ו-25% הן תוכניות שמיועדות גם לשיפור וגם להסבה.

מחצית מהתוכניות הן תוכניות ארוכות טווח בין 301-400 שעות. 38% מהתוכניות הן אף יותר מ-400 שעות. רק תוכנית אחת היא תוכנית קצרה של עד 50 שעות.

שש תוכניות מועברות בצורה היברידית ושתי תוכניות מועברות בצורה פורנטלית ואין תוכניות המועברות באופן מקוון.

ברוב המוחלט של התוכניות המרצים הם מהאקדמיה, ורק בתוכנית אחת המרצים הם מומחים מהארץ ומחול"ל.

בתחומי הרפואה בעיקר במרכז האקדמי ללימודי המשך ברפואה למדו בשלוש השנים האחרונות מעל 10,000 תלמידים. מספרים אלה מעידים על מרכז הכובד של לימוד לאורך החיים בתחומי הרפואה. בתחומים האחרים של מדעי המחשב מספר התלמידים בלימודי טכנולוגיה, חדשנות ומדעי המחשב הנו נמוך יותר.

בכל התוכניות מקבלים תעודה אוניברסיטאית מטעם המזכירות האקדמית. בכל התוכניות, פרט לתוכנית הצבירה, אין אקרדיטציה.

טבלה 6: תוכניות ללימוד לאורך החיים הניתנות באוניברסיטת תל אביב

שם התוכנית	תחום מרכזי	UP/RE-skilling	משך התוכנית	כוח ההוראה	סוג תעודה	אקרדיטציה/אבטחת איכות	תנאים לסיום וקבלת תעודה	שיטת הלימוד	שת"פ - תעשייה/אקדמיה/ארגונים	מספר המשתתפים בשלוש השנים האחרונות
לימודים פרה קליניים / קליניים - מרכז אקדמי ללימודי המשך ברפואה	רפואה ובריאות	upskilling (שיפור)	301-400	מהאקדמיה	זכאות ללימודי תעודה אוניברסיטאית לרופאים בלבד במקצועות הקליניים	תעודה אוניברסיטאית מטעם המזכירות האקדמית	התעודה מוענקת בתחום עיסוקם הקליני	היברידי	אין מידע	הנתונים הם עבור כל ארבעת התחומים
לימודים מתקדמים - מרכז אקדמי ללימודי המשך ברפואה	רפואה ובריאות	upskilling (שיפור)	301-400	מהאקדמיה	זכאות ללימודי תעודה אוניברסיטאית לרופאים בלבד במקצועות הקליניים התוכניות מיועדות לבעלי תואר M.D, מתמחים ומומחים	תעודה אוניברסיטאית מטעם המזכירות האקדמית	התעודה מוענקת בתחום עיסוקם הקליני	היברידי	אין מידע	תש"פ: 3588 תשפ"א: 3871 תשפ"ב: 3278
לימודים בין-תחומיים-מרכז אקדמי ללימודי המשך ברפואה	רפואה ובריאות	upskilling (שיפור)	301-400	מהאקדמיה	זכאות ללימודי תעודה אוניברסיטאית לרופאים בלבד במקצועות הקליניים התוכניות מיועדות לבעלי תואר M.D, מתמחים ומומחים	תעודה אוניברסיטאית מטעם המזכירות האקדמית	התעודה מוענקת בתחום עיסוקם הקליני	היברידי	אין מידע	
לימודים תחומיים-מרכז אקדמי ללימודי המשך ברפואה	רפואה ובריאות	upskilling (שיפור)	301-400	מהאקדמיה	זכאות ללימודי תעודה אוניברסיטאית לרופאים בלבד במקצועות הקליניים התוכניות מיועדות לבעלי תואר M.D, מתמחים ומומחים	תעודה אוניברסיטאית מטעם המזכירות האקדמית	התעודה מוענקת בתחום עיסוקם הקליני	היברידי	אין מידע	

שם התוכנית	תחום מרכזי	UP/RE-skilling	משך התוכנית	כוח ההוראה	סוג תעודה	אקדיטציה/אבטחת איכות	תנאים לסיום וקבלת תעודה	שיטת הלימוד	שת"פ - תעשייה/אקדמיה/ארגונים	מספר המשתתפים בשלוש השנים האחרונות
רפואת שיניים - מרכז אקדמי ללימודי המשך ברפואה	רפואה ובריאות	upskilling (שיפור)	יותר מ-400	מהאקדמיה		לאחר עמידה בכל דרישות תוכנית ההתמחות, רשאי המתמחה לגשת לבחינות המועצה המדעית לקבלת הסמכה כמומחה מטעם משרד הבריאות.	לעמוד בהצלחה בבחינות הגמר בכתב ובע"פ.	פרונטלי	אין מידע	
מאסטר טראק	צבירה/מאסטר טראק	UP/RE-skilling	יותר מ-400	מהאקדמיה	סטודנטים שיעמדו בדרישות האקדמיות, עם ממוצע ציונים של לפחות 75, יהיו זכאים לתעודה מטעם האוניברסיטה.	תעודה	ממוצע של 75 לפחות וציון 60 לפחות בכל קורס.	פרונטלי	אין מידע	אין מידע
לימודי תעודה במדעי המחשב	מדעי המחשב	UP/RE-skilling	יותר מ-400	מהאקדמיה	תעודה המאשרת שסיים לימודים במדעי המחשב.	תעודה (לא תואר)	על התלמיד לסיים בהצלחה לימוד 9 קורסים מלימודי התואר בוגר.	היברידי	אין מידע	2
עידן הקריפטו ומגמות פורצות דרך בעולם טכנולוגי מתחדש	טכנולוגיה וחדשנות	upskilling (שיפור)	עד 50	מומחים מהארץ ומחול	תעודה	אין מידע	אין מידע	היברידי	משרדי עו"ד	32

3.3 המכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון

במיפוי שביצענו במכללות האקדמיות הטכנולוגיות רק בשש מכללות נמצאו תוכניות לימוד לאורך החיים שמתאימות לקריטריונים. היקף התוכניות נמוך ועומד על 10 תוכניות, כאשר מחצית מהתוכניות הן של המכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון. ובשאר חמש המכללות נמצאה רק תוכנית אחת בכל מכללה.

התוכניות במכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון מתקיימות במרכז ללימודי חוץ, תעודה והמשך בתחומים של תוכנה; בניין; חשמל; אנרגיה; תשתיות ותחבורה.

60% מהתוכניות הן תוכניות upskilling (שיפור) ו-40% הן תוכניות שהן גם הסבה וגם שיפור (UP/RE-skilling).

במכללת סמי שמעון, בשונה מהטכניון ואוניברסיטת תל אביב שסקרנו לעיל, 60% מהתוכניות הן מקוונות ו-40% פרונטליות.

רוב התוכניות הן תוכניות קצרות טווח. 40% מהתוכניות הן עד 50 שעות ו-40% נוספות הן בין 50-100 שעות.

בסדנת הכנה לוועדת רישיונות חשמל המרצים הם מהאקדמיה ובקורס ממונה אנרגיה המרצים מהתעשייה. בשאר התוכניות לא מפורט כוח ההוראה.

בתחומי הבניין, תשתיות ותחבורה, והאנרגיה יש אקרדיטציה. בסיום ההכשרה ועמידה בדרישות התוכנית הבוגרים מקבלים תעודה מוכרת ממשרד העבודה/ משרד האנרגיה או את הזכות להירשם ברשימת המורשים לעסוק בתחום.

טבלה 7: תוכניות ללימוד לאורך החיים הניתנות במכללת סמי שמעון

שם התוכנית	תחום מרכזי	UP/RE-skilling	משך התוכנית - נירמול	כוח ההוראה	סוג תעודה	אקדיטציה/אבטחת איכות	תנאים לסיום וקבלת תעודה	שיטת הלימוד	שת"פ - תעשייה/אקדמיה/ארגונים אחרים
קורס אוטוקד דו-מימד	תוכנה	upskilling (שיפור)	עד 50	אין התייחסות	לא מפורט	לא מפורט	אין מידע	מקוון	0
מנהלי עבודה בבניין	בניין	UP/RE-skilling	עד 100	אין התייחסות	בסיום ההכשרה המקצועית ומעבר בהצלחה ועדה מקצועית יקבלו הבוגרים תעודת "מנהל עבודה" בבנייה ובנייה הנדסית המוכר ע"י משרד העבודה.	בסיום ההכשרה המקצועית ומעבר בהצלחה ועדה מקצועית יקבלו הבוגרים תעודת "מנהל עבודה" בבנייה ובנייה הנדסית המוכר ע"י משרד העבודה.	עמידה במבחן של משרד העבודה	מקוון	אין
סדנת הכנה לוועדת רישיונות חשמל	חשמל	upskilling (שיפור)	עד 50	מהאקדמיה	לא מפורט	לא מפורט - סדנת הכנה לוועדת רישיונות	אין מידע	פרונטלי	אין
קורס ממונה אנרגיה	אנרגיה	upskilling (שיפור)	עד 100	מהתעשייה	בסיום הקורס יוענקו שתי תעודות: האחת, מטעם SCE המכללה האקדמית להנדסה סמי שמעון - המרכז ללימודי חוץ; והשנייה, תעודה מטעם משרד האנרגיה, המסמיכה לתפקיד ממונה אנרגיה.	בסיום הקורס יוענקו שתי תעודות: האחת, מטעם SCE המכללה האקדמית להנדסה סמי שמעון - המרכז ללימודי חוץ; והשנייה, תעודה מטעם משרד האנרגיה, המסמיכה לתפקיד ממונה אנרגיה.	ביצוע עבודת גמר עמידה במבחן מסכם	מקוון	המרצים הם מובילה במשק בתחומיה
קורס מורשה נגישות	תשתיות ותחבורה	UP/RE-skilling	100-200	אין התייחסות	לא מפורט	הלומדים בקורס שיעמדו בהצלחה בתנאי הקורס יהיו רשאים להירשם ברשימת המורשים לנגישות מבנים תשתיות וסביבה. כמו כן, תינתן להם הזכות לפעול במסגרת הליכי תכנון, רישוי בנייה ועסקים, במוסדות לחינוך והשכלה גבוהה.	נוכחות של 85% משעות הלימוד. 3 מבחנים במהלך הקורס כתיבת פרויקט גמר והגנה עמידה בבחינה חיצונית מקצועית.	פרונטלי	0

CivilEng Academy 3.4

המכללה CivilEng Academy הוקמה על קבוצת CivilEng בשנת 2019 כזרוע ההכשרות, ההדרכה והלימודים של הקבוצה, האמונה על פיתוח תוכניות וקורסים במגוון התחומים והמקצועות בענף. הקורסים מיועדים לכלל אנשי המקצוע והמנהלים בענף, על שלל הדיסציפלינות והתפקידים השונים: החל מביצוע, דרך ניהול ופיקוח, תכנון, ייזום ועד לאנשי המטה, ומיועדים הן לקהל הרחב – במסגרת קורסים ברישום פתוח והן בפורמט סגור עבור חברות ומשרדים, כתוכניות לימוד התפורות במדויק לצרכי הארגון – הן ברמת התוכן ונושאי הלימוד והן ברמה הטכנית והלוגיסטית¹⁵.

במסגרת המיפוי מצאנו 15 תוכניות העומדות בקריטריונים של מיפוי זה. כולן בתחומי הבניין, ניהול בבניין ותשתיות בניין.

כל התוכניות הן למטרות של שיפור (upskilling) ואין תוכניות שהן למטרות הסבה. גם משך הקורסים הוא קצר וכולן במסגרת של עד 50 השעות (רובן הן על בסיס של 5-9 הרצאות של 5 שעות). כל התוכניות (פרט לתוכנית אחת) הן פרונטליות.

כוח ההוראה הם מרצים מהתעשייה. כמו כן ברוב התוכניות קיים שת"פ עם מומחים מהתעשייה, חברות בנייה והנדסה, חברות ניהול ופיקוח פרויקטים, אדריכלים וחברות יעוץ בתחום.

משתלמים שעומדים בתנאי הקורס – נוכחות ב-80% מהמפגשים לכל הפחות ובעמידה בבחינות ו/או בהגשת עבודות, בהתאם לתנאי הקורס זכאים לתעודת סיום. באף אחת מהתוכניות אין אקרדיטציה.

¹⁵ <https://www.civileng.co.il/academy/about>

טבלה 8: תוכניות ללימוד לאורך החיים הניתנות במכללת CivilEng Academy

שם התוכנית	תחום מרכזי	UP/RE-skilling	משך התוכנית - נירמול	ניתוח לקטגוריות-על של כוח ההוראה	סוג תעודה	אקדיטציה/אבטחת איכות	תנאים לסיום וקבלת תעודה	שיטת הלימוד מקוונת/פרונטלי	שת"פ - תעשייה/אקדמיה/ארגונים אחרים
מומחים למתן עדות וחוות דעת בבתי המשפט	ניהול-בבניין	upskilling (שיפור)	עד 50	מהתעשייה	תעודת סיום	אין פירוט	80% מהמפגשים לכל הפחות ובעמידה בבחינות ו/או בהגשת עבודות, בהתאם לתנאי הקורס.	פרונטלי	מומחה מהתעשייה
הגשת מרזים וניהול חוזי התקשרות	ניהול-בבניין	upskilling (שיפור)	עד 50	מהתעשייה	תעודת סיום	אין פירוט	80% מהמפגשים לכל הפחות ובעמידה בבחינות ו/או בהגשת עבודות, בהתאם לתנאי הקורס.	פרונטלי	חברת מירב היתרונות
קורס בקרה תקציבית	ניהול-בבניין	upskilling (שיפור)	עד 50	מהתעשייה	תעודת סיום	אין פירוט	80% מהמפגשים לכל הפחות ובעמידה בבחינות ו/או בהגשת עבודות, בהתאם לתנאי הקורס.	פרונטלי	חברה לניהול ופיקוח פרויקטים
התמודדות עם אתגרים בעולם התת-קרקע	תשתיות ותחבורה	upskilling (שיפור)	עד 50	מהתעשייה	תעודת סיום	הקורס מוכר על ידי הקרן לעידוד ענף הבנייה	80% מהמפגשים לכל הפחות ובעמידה בבחינות ו/או בהגשת עבודות, בהתאם לתנאי הקורס.	פרונטלי	
תכן מסעות גמישות	תשתיות ותחבורה	upskilling (שיפור)	עד 50	מהתעשייה	תעודת סיום	אין פירוט	80% מהמפגשים לכל הפחות ובעמידה בבחינות ו/או בהגשת עבודות, בהתאם לתנאי הקורס.	פרונטלי	דוכיפת הנדסה חברה
עולם הבטון - כלים מעשיים	בניין	upskilling (שיפור)	עד 50	מהתעשייה	תעודת סיום	הקרן לעידוד ענף הבנייה	80% מהמפגשים לכל הפחות ובעמידה בבחינות	פרונטלי	חברת אפק

שם התוכנית	תחום מרכזי	UP/RE-skilling	משך התוכנית - נירמול	ניתוח לקטגוריות-על של כוח ההוראה	סוג תעודה	אקרדיטציה/אבטחת איכות	תנאים לסיום וקבלת תעודה	שיטת הלימוד מקוונת/פורנטלי	שת"פ - תעשייה/אקדמיה/ארגונים אחרים
וידע מתקדם בתורת הבטון							ו/או בהגשת עבודות, בהתאם לתנאי הקורס.		
BIM ניהול פרויקטים	ניהול-בבניין	upskilling (שיפור)	עד 50	מהתעשייה	תעודת סיום	הקורס מוכר על ידי הקרן לעידוד ענף הבנייה	80% מהמפגשים לכל הפחות ובעמידה בבחינות ו/או בהגשת עבודות, בהתאם לתנאי הקורס.	פרונטלי	חברת מימוני הנדסה
ניהול לוחות זמנים ומשאבים בבנייה ותשתיות Project -	ניהול-בבניין	upskilling (שיפור)	עד 50	מהתעשייה	תעודת סיום	הקורס מוכר על ידי הקרן לעידוד ענף הבנייה	80% מהמפגשים לכל הפחות ובעמידה בבחינות ו/או בהגשת עבודות, בהתאם לתנאי הקורס.	פרונטלי	חברה לניהול ופיקוח פרויקטים
טופס 4 - משלב התכנון ועד קבלת אישור אכלוס	ניהול-בבניין	upskilling (שיפור)	עד 50	מהתעשייה	תעודת סיום	אין פירוט	80% מהמפגשים לכל הפחות ובעמידה בבחינות ו/או בהגשת עבודות, בהתאם לתנאי הקורס.	פרונטלי	מרצה מהתעשייה
Civil 3D למתקדמים	תשתיות ותחבורה	upskilling (שיפור)	עד 50	מהתעשייה	תעודת סיום	אין פירוט	80% מהמפגשים לכל הפחות ובעמידה בבחינות ו/או בהגשת עבודות, בהתאם לתנאי הקורס.	מקוון	מרצה מהתעשייה
קורס ניהול משא ומתן בענף הבנייה	ניהול-בבניין	upskilling (שיפור)	עד 50	עורך דין	תעודת סיום	אין פירוט	80% מהמפגשים לכל הפחות ובעמידה בבחינות ו/או בהגשת עבודות, בהתאם לתנאי הקורס.	פרונטלי	עו"ד

שם התוכנית	תחום מרכזי	UP/RE-skilling	משך התוכנית - נירמול	ניתוח לקטגוריות-על של כוח ההוראה	סוג תעודה	אקדמיטציה/אבטחת איכות	תנאים לסיום וקבלת תעודה	שיטת הלימוד מקוונת/פרונטלי	שת"פ - תעשייה/אקדמיה/ארגונים אחרים
ניהול משאבי אנוש בענף הבנייה, הנדל"ן והתשתיות	ניהול-בבניין	upskilling (שיפור)	עד 50	מהתעשייה	תעודת סיום	אין פירוט	80% מהמפגשים לכל הפחות ובעמידה בבחינות ו/או בהגשת עבודות, בהתאם לתנאי הקורס.	פרונטלי	בשיתוף מרצים מהתעשייה
ניהול סיכונים בפרויקטי בנייה ותשתית	בניין	upskilling (שיפור)	עד 50	מהתעשייה	תעודת סיום	אין פירוט	80% מהמפגשים לכל הפחות ובעמידה בבחינות ו/או בהגשת עבודות, בהתאם לתנאי הקורס.	פרונטלי	חברת סולברג ייעוץ
התמודדות עם אתגרי האיטום בבנייה	בניין	upskilling (שיפור)	עד 50	מהתעשייה	תעודת סיום	הקורס מוכר על ידי הקרן לעידוד ענף הבנייה	80% מהמפגשים לכל הפחות ובעמידה בבחינות ו/או בהגשת עבודות, בהתאם לתנאי הקורס.	פרונטלי	חברת ביטלמן אדריכלים בע"מ
תכנון פרקטי: כלים מעשיים למתכננים	בניין	upskilling (שיפור)	עד 50	מהתעשייה	תעודת סיום	הקורס מוכר על ידי הקרן לעידוד ענף הבנייה	80% מהמפגשים לכל הפחות ובעמידה בבחינות ו/או בהגשת עבודות, בהתאם לתנאי הקורס.	פרונטלי	סלומון מהנדסים

3.5 לשכת המהנדסים האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל

לשכת המהנדסים, האדריכלים והאקדמאים בעלי המקצועות הטכנולוגיים מרכזת את הפעילויות המקצועיות, ההשתלמויות, ההטבות ואירועי הפנאי לאנשי המקצוע.

בסקירה של האתר נמצאו 10 תוכניות/קורסים שמתאימים לקריטריונים. התוכניות הן בתחומים מגוונים: הנדסת מערכת; סביבה; ניהול; תוכנה; סייבר; ביומימיקרי; הדפסת תלת מימד; ניתוח סיכונים בתעשייה.

רוב התוכניות הן למטרות של שיפור (upskilling). גם משך הקורסים הוא קצר ורובן במסגרת של עד 50 השעות פרט ל-2 תוכניות שהן בהיקף של עד 200 שעות. רוב התוכניות הן פרונטליות, שתי תוכניות היברידיות ותוכנית אחת מקוונת.

כוח ההוראה מגוון למרות ש-60% מהמרצים הם מרצים של לשכת המהנדסים האדריכלים והאקדמאים. קיימים קורסים בהם המרצים הם מהתעשייה ו/או מהאקדמיה וארגונים נוספים רלוונטיים לתחום. כמו כן כבמחצית מהתוכניות קיים שת"פ עם אלביט והטכניון; ארגון הביומימיקרי הישראלי ואוניברסיטת תל אביב; הפורום הישראלי לפוטוניקה ואלביט מערכות; אלאופ וגרין אקדמי.

ברוב התוכניות אין מידע לגבי תנאי הקורס והתעודה שמוענקת. באלה שצוין התנאי הוא חובת נוכחות והתעודה שמוענקת היא תעודה מטעם לשכת המהנדסים ואין אקרדיטציה. יחד עם זאת, במסלול להכשרת מנתחי סיכונים בתעשייה התהליכית יש דרישות מחמירות יותר הכוללות נוכחות בהיקף 80% לפחות בקורסים, מעבר מבחן מסכם בכל אחד מהקורסים בציון מינימלי של 70, קבלת ציון מינימום של 80 לפחות בעבודת הגמר ומעבר וועדת ההכרה המורכבת משלושה נציגים זכאים לרישום בפנקס כמנתחי סיכונים תהליכיים של לשכת המהנדסים.

טבלה 9: תוכניות לימוד לאורך החיים הניתנות בלשכת המהנדסים האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל

שם התוכנית	תחום מרכזי	UP/RE-skilling	משך התוכנית - נירמול	ניתוח לקטגוריות-על של כוח ההוראה	סוג תעודה	אקדיטציה/אבטחת איכות	תנאים לסייום וקבלת תעודה	שיטת הלימוד מקוונת/פורנטלי	שת"פ - תעשייה/אקדמיה/ארגונים אחרים
קורס הנדסת מערכות פוטוניות	הנדסת מערכת	upskilling (שיפור)	עד 50	מהתעשייה	לא מפורט		אין מידע	פרונטלי	הפורום הישראלי לפוטוניקה ואלביט מערכות אלאופ
קורס ניהול התייעלות סביבתית	סביבה	UP/RE-skilling	עד 50	מהאקדמיה ואיגוד סביבה וקיימות	תעודה מטעם לשכת המהנדסים וגרין אקדמי	הקורס הינו לעדכון ולריענון ואינו מהווה הכשרה או הסמכה מטעם משרד ממשלתי/מוסד כל שהוא	חובת נוכחות של 80% משעות הלימוד	היברידי	שת"פ עם גרין אקדמי
קורס היבטים ניהוליים ואתגרים בניהול מו"פ	ניהול	upskilling (שיפור)	עד 50	מלשכת המהנדסים האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל	לא מפורט	אינו מהווה הכשרה או הסמכה מטעם משרד ממשלתי/מוסד כל שהוא הקורס אינו מוכר לגמול השתלמות	חובת נוכחות בקורס ביצוע שתי עבודות	פרונטלי	המרצה מהתעשייה
קורס מבוא לתכנות בפייתון	תוכנה	upskilling (שיפור)	עד 50	מלשכת המהנדסים האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל	לא מפורט	לא מפורט	אין מידע	היברידי	אין
קורס מבואות לסייבר	סייבר	upskilling (שיפור)	עד 50	מלשכת המהנדסים האדריכלים והאקדמאים	לא מפורט	לא מפורט	אין מידע	פרונטלי	אין

שם התוכנית	תחום מרכזי	UP/RE-skilling	משך התוכנית - נירמול	ניתוח לקטגוריות-על של כוח ההוראה	סוג תעודה	אקרדיטציה/אבטחת איכות	תנאים לסייום וקבלת תעודה	שיתת הלימוד מקוונת/פרונטלי	שת"פ - תעשייה/אקדמיה/ארגונים אחרים
בעולם התעשיות הביטחוניות				במקצועות הטכנולוגיים בישראל					
קורס ביומימיקרי - חדשנות בהשראת הטבע	ביומימיקרי	upskilling (שיפור)	עד 50	מהאקדמיה ומרצה מטעם ארגון הביומימיקרי	תעודה מטעם לשכת המהנדסים		אין מידע	פרונטלי	ארגון הביומימיקרי הישראלי ואוניברסיטת תל אביב
סדנת חידושים ויישומים בהדפסה תלת ממדית של מתכות	הדפסת תלת מימד	upskilling (שיפור)	100-200	מהאקדמיה ומהתעשייה	תעודה מטעם לשכת המהנדסים	לא מפורט	חובת נוכחות של 100% משעות הלימוד	פרונטלי	אלביט והטכניון
מסלול להכשרת מנתחי סיכונים בתעשייה התהליכית	ניתוח סיכונים בתעשייה	upskilling (שיפור)	עד 100	מלשכת המהנדסים האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל	תעודת רישום בפנקס	רישום בפנקס מנתחי סיכונים תהליכיים של לשכת המהנדסים ותעודת רישום בפנקס	סיום בהצלחה של שלושת הקורסים, חובת נוכחות בהיקף 80% לפחות, מעבר מבחן מסכם בכל אחד מהקורסים בציון מינימלי של 70, קבלת ציון מינימום של 80 לפחות בעבודת הגמר, מעבר וועדת ההכרה המורכבת משלושה נציגים	פרונטלי	אין
קורס מבוא להנדסת אינטגרציה מערכתית	הנדסת מערכת	upskilling (שיפור)	עד 50	מלשכת המהנדסים האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל	תעודה מטעם לשכת המהנדסים	מוכר לגמול השתלמות	חובת נוכחות של 100% משעות הלימוד	פרונטלי	אין

שם התוכנית	תחום מרכזי	UP/RE-skilling	משך התוכנית - נירמול	ניתוח לקטגוריות-על של כוח ההוראה	סוג תעודה	אקרדיטציה/אבטחת איכות	תנאים לסיום וקבלת תעודה	שיטת הלימוד מקוונת/פורנטלי	שת"פ - תעשייה/אקדמיה/ארגונים אחרים
קורס ניהול פרויקטים טכנולוגיים למהנדסים	ניהול	0	עד 50	מלשכת המהנדסים האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל	לא מפורט	לא מפורט	אין מידע	מקוון	אין

4. תשתיות ופלטפורמות קיימות ל-LLL

במסגרת המחקר נבחנו גם תשתיות/פלטפורמות קיימות המשמשות ל-LLL. להלן ניתוח מורחב של אתר עבודאטה ואתר קמפוס IL:

4.1 אתר עבודאטה¹⁶

אתר [עבודאטה](#) הוא ממשק המיועד לפרט, ומציג נתונים סטטיסטיים ומנהליים על עיסוקים במשק הישראלי ועל מסלולי לימוד המוכרים על ידי המועצה להשכלה גבוהה או על ידי משרד העבודה והרווחה.

האתר הוא יוזמה משותפת בהובלת משרד העבודה, יחד עם ג'וינט תבת, משרד האוצר, וישראל דיגיטלית.

האתר נועד להנגיש נתונים מקיפים ומהימנים על שוק העבודה ומסלולי לימודים מרכזיים כדי לתת לציבור הרחב כלים לקבלת החלטות מושכלות בנוגע למסלולי הפיתוח האישי והקריירה שלהם. הוא מונגש בשפות עברית וערבית.

האתר נותן מידע נרחב על כ-300 תחומי עיסוק, הכולל את השכר הממוצע בכל תחום, שעות העבודה הממוצעות, רמות ההשכלה של העובדים בתחום זה, את הענפים המרכזיים שבהם השתלבו הבוגרים, את המיומנויות המרכזיות הנדרשות ועוד מגוון רחב של נתונים.

באתר ניתן למצוא בין היתר נתונים על השתלבות בתעסוקה ועל שכר של בוגרי תואר ראשון, בוגרי תואר הנדסאי ובוגרי הכשרה מקצועית שנמצאת בפיקוח זרוע עבודה. בנוסף מוצגים בו ציון פסיכומטרי וציון בגרות ממוצעים של הלומדים בחלוקה לפי מוסד אקדמי וחוג לימודים, ענפי התעסוקה העיקריים שבהם השתלבו בוגרי ההכשרות השונים ועוד.

במאגר מסלולי הלימוד וההכשרות אפשר למצוא מסלולי לימוד ארוכים או קצרים משלושה סוגים:

- תואר אקדמי – לימודים של שלוש שנים לפחות באוניברסיטה או במכללה. בתום הלימודים מקבלים תואר אקדמי.
- הכשרה טכנולוגית – לימודים של שנתיים או שלוש במכללות הטכנולוגיות המוכרות (מה"ט). בתום הלימודים מקבלים תעודת הנדסאי/ת או טכנאי/ת.
- הכשרה מקצועית - הכשרות מגוונות וקצרות יחסית המשלבות הכשרה מעשית, בפיקוח האגף להכשרה מקצועית. בתום הלימודים מקבלים תעודת מקצוע.

באתר מוצגים רק לימודים מוכרים על ידי המועצה להשכלה גבוהה הנלמדים באוניברסיטאות ובמכללות המוכרות. בנוסף, מוצגים באתר לימודים שבפיקוח משרד העבודה, רווחה ושירותים חברתיים: הכשרות טכנולוגיות (לימודי הנדסאות) במכללות מה"ט והכשרות מקצועיות. יצוין, כי מוצגות רק תוכניות שעבורן יש נתונים. כלומר, חוגים אקדמיים או הכשרות שמספר הלומדים בהם היה קטן מאד ולא ניתן לשלוף עבורם נתונים מטעמי סודיות, לא הוצגו באתר, אך המסלולים השונים מופיעים באתרים של מוסדות הלימוד.

¹⁶ avodata.labor.gov.il

באתר מוצגים רק עיסוקים שעבורם יש נתונים סטטיסטיים ותיאור ייחודי של העיסוק או המיומנויות והכישורים הנדרשים כדי לעסוק בו.

כלל הנתונים מעובדים מתוך קבצים שנאספו בלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. חלקה נתונים מנהליים (כמו קבצים מס הכנסה, מרשם השכלה) וחלקם נתונים מבוססי סקרים

שמות העיסוקים מבוססים על הסיווג הבינלאומי של ארגון העבודה הבינלאומי ISCO-08, שנוצר בשנת 2008, ולכן אינם כוללים עיסוקים חדשים שהתפתחו בשוק העבודה בעשור וחצי האחרונים. (מקור [מתודולוגיה 2021](#)).

אין באתר התייחסות או אפשרות לבצע חיפוש ללימודי המשך לאקדמאים בתחומי ה-STEM. מהתרשמות שלנו האתר מיועד לספק מידע לאנשים המעוניינים לקבל מידע לגבי תחומי עיסוק ובחירת התחלת קריירה.

4.2 קמפוס IL

כללי

[קמפוס IL](#)¹⁷ הוא פרויקט משותף של מטה המיזם הלאומי ישראל דיגיטלית במערך הדיגיטל הלאומי והמועצה להשכלה גבוהה, במטרה לאפשר לכל אדם בישראל (החל בתלמידי תיכון וסטודנטים, דרך מורים, עובדי מדינה ומחפשי עבודה, ועד אזרחים ותיקים וכל אדם סקרן שמעוניין להרחיב אופקים) לרכוש השכלה ולפתח מיומנויות לקידומו האקדמי, המקצועי והאישי.

קמפוס-IL, מבוסס על הפלטפורמה מבית edX, שפותחה על ידי האוניברסיטאות MIT ו-Harvard. הקורסים מופקים ברמה גבוהה ובדגש על איכות ההוראה (מתוך האתר). משולבים בהם סרטונים, כלים אינטראקטיביים מתקדמים, פורומים ומגוון מסלולי למידה חווייתיים ומותאמים אישית. הקורסים הם מהמוסדות האקדמיים, ממשרדי הממשלה וגופים ציבוריים נוספים בישראל¹⁸. זכויות היוצרים של החומרים שייכים למטה ישראל דיגיטלית.

כלים טכנולוגיים לאיסוף מידע

מטה ישראל דיגיטלית עושה שימוש בכלים טכנולוגיים מקובלים של צדדים שלישיים לצורך איסוף מידע אישי ומידע אנונימי, כדוגמת "Google" analytics, cookies, תגי אינטרנט וטכנולוגיית Facebook pixel ©, וזאת בין היתר לצורך ניתוח נתונים סטטיסטיים אודות השימוש באתר ולצורך שיפור חוויית גלישת המשתמש.

¹⁷ <https://campus.gov.il>

¹⁸ רשימת המוסדות: HIT - המכון הטכנולוגי חולון, אוניברסיטת אריאל בשומרון, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב, אוניברסיטת בר-אילן, אוניברסיטת חיפה, אוניברסיטת רייכמן, אוניברסיטת תל אביב, אורנים המכללה האקדמית לחינוך והוראה, אקדמיית אלקאסמי, בית הספר לעבודה סוציאלית, בסמח, בצלאל אקדמיה לאמנות ועיצוב, גיוינט ישראל, האוניברסיטה העברית בירושלים, האוניברסיטה הפתוחה, האקדמיית גורדון, הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל, הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל, המכללה האקדמית אחוה, המכללה האקדמית אשקלון, המכללה האקדמית בית ברל, המכללה האקדמית לחינוך חמדת הדרום, המכללה האקדמית ספיר, המכללה האקדמית תל-חי, המרכז הארצי לבחינות והערכה, המרכז לחינוך סייבר, זרוע העבודה - משרד הכלכלה והתעשייה, חיל האוויר, יד ושם, מדור טי"ל, מדרסה, מכון ויצמן למדע, מכון מופ"ת, מכללה אקדמית הדסה ירושלים, מכללת לוינסקי לחינוך, מכללת סמינר הקיבוצים, מכללת סמינר הקיבוצים, מכללת תלפיות, מערך הדיגיטל הלאומי, מערך הסייבר הלאומי, משרד הבריאות, משרד החדשנות, המדע והטכנולוגיה, משרד החינוך, קמפוס IL, שירות התעסוקה

תעודות

מטה ישראל דיגיטלית, משרדי הממשלה, המוסדות האקדמיים וארגונים אחרים המציעים קורסים באתר רשאים להעניק תעודת סיום או הכרה מסוג אחר ("תעודה") למשתמשים אשר, להערכתם, הציגו שליטה מספקת בתכני הקורס המועבר. ההחלטה בדבר הענקת תעודה למשתמש בקורס מסוים מצויה בשיקול דעתו הבלעדי של הגוף המציע את הקורס אך עשויה להיות כפופה לקבלת אישור קמפוס IL. קמפוס IL או הגופים המספקים קורסים באתר רשאים לבחור שלא להעניק תעודה בגין קורסים מסוימים. במקרים אלה, ייתכן כי תעודות יונפקו על ידי קמפוס IL, בצירוף שמו של הגוף שהעלה את הקורס. יתכן והמשתמש יידרש לשלם תשלום ייעודי לצורך קבלת תעודת סיום מאומתת.

תהליך בחינה מרחוק

קיימת אפשרות כי לצורך קבלת תעודה מאומתת בסיום קורס דיגיטלי בפלטפורמה הלאומית, המשתמש יידרש לעבור בחינה אשר תתקיים "מרחוק", כלומר באמצעות אמצעי אלקטרוני, כגון מחשב, ושלא תחת פיקוח פיסי של בוחנים מטעם מטה ישראל דיגיטלית. במקרים אלו, לשם השתתפות בבחינה "מרחוק" לצורך קבלת תעודה מאומתת, המשתמש יתבקש לתת הסכמתו למטה ישראל דיגיטלית ו/או לצד ג' מטעמו לעשות שימוש בכלים טכנולוגיים ואחרים אשר מטרתם לשמור על טוהר הבחינות והשוויון בין הנבחנים. כלים אלו יכולים להיות, למשל, שיתוף מסך המחשב שלך בעת הבחינה; הקלטת מהלך הבחינה באמצעות מצלמה (לרבות זיהוי פני הנבחן); הקלטת שמע של סביבת הבחינה (לרבות זיהוי קול הנבחן); הקלטת פעילות הגלישה ברשת בזמן הבחינה או אמצעים דומים אחרים. המידע שייקלט ויאסוף תוך שימוש בכלים אלו יישמר בשרתי מטה ישראל דיגיטלית ויעשה בו שימוש על מנת להבטיח את טוהר הבחינות ואת השוויון בין הנבחנים.

קורסים העומדים בקריטריונים שהוגדרו

באתר ישנם סה"כ כ- 400 קורסים בתחומים שונים ומגוונים. על מנת לקבל סידרי גודל לקורסים שתואמים את הקריטריונים שנבחרו למחקר זה ביצענו סינון על פי מוסדות אקדמיים הנדסיים + יעדי למידה: השכלה אקדמית, קורסי העשרה ושער להייטק + קורסים המעניקים תעודה. נמצאו 8 קורסים סה"כ. מתוכם 2 קורסים רלבנטיים: אתיקה בהייטק והנדסת מערכות מבוססת מודלים עם OPM: קורס מתקדם. שניהם מהטכניון והתעודה היא של קמפוס IL.

לסיכום, הפלטפורמה של קמפוס IL רחבה ופתוחה לכולם, יש בה מעט קורסים המיועדים לבעלי תארים ותהליך ההערכה אינו מתאים למסגרת LLL כפי שהוגדר בדוח זה.

פירוט על תהליך בניית קורס בנושא אתיקה בהייטק¹⁹ במערכת קמפוס-IL²⁰

הליך אישור הקורס: הקשר הראשוני נוצר לאחר קול קורא של המל"ג. (יש גם תהליך הפוך – פנייה ל-campus.il). במל"ג בדקו את היכולת של המרצה לדבר מול קהל/מצלמה ואת הנושא (עניין, רלבנטיות וכד'). ב-campus.il בדקו את מהות הקורס, קהל היעד, מספר מפגשים, המרצה, התחייבות לתמיכה בקורס עד שנה לאחר הפרסום.

תקציב: ע"פ נקודות זכות. 2 נ"ז=400,000 ש"ח. 75% מהתקציב על ההפקה, 25% על הכנת החומר והמרצה.
הכנת הקורס: אין התערבות והמרצה עצמאי לחלוטין.

תהליך ההכנה: קבלת סיוע של Creator שתפקידו לתכנן אסטרטגית את הקורס ברמה הפקתית כמו למשל צירוף מרצים אורחים, בניית שאלות אינטראקטיות, בניית מסגרת כללית והמודלים. לאחריו קובעים כמה פרקים ואורך הקורס ואת אלמנטי הלמידה: ווידאו, הסכתים, מצגות, חומר שטוח (קריאה והפנייה למקורות). עם חברת ההפקה מגדירים התאמה של רכיבי הלמידה לתכנים.

מדיניות ההערכה: ישנם 2 מסלולים - מסלול א' כולל 10 שאלות רב ברירתיות על כל מודול וקבלת אישור על סיום הקורס ותעודה של campus.il. מסלול ב' מיועד לאקדמאים ולמפעלים. מקבלים משימות/אירועים והנבחנים כותבים תשובות פתוחות. זה מחייב מינוי של אינסטרקטור שיבדוק ויתן ציונים במסגרת אקדמיה/מפעל.

תעודה: קבלת תעודה של campus.il והטכניון. רק במסלול ב' אפשר לקבל נ"ז.

בדיקה של איכות (quality testing): בסיום הצילומים נעשית בדיקה של עמידה בסטנדרטים, בהגייה, מגדר, זכויות יוצרים, צורת הכתיבה וכד' של campus.il, הטכניון וחברת ההפקה. הרצה של חצי שנה ושיפורים. רק לאחר זאת מעלים לאוויר.

קבלת נתונים סטטיסטיים הפלטפורמה מבית edX מאפשרת קבלת נתונים כגון מספר הנרשמים והמסיימים, חתך גילאים ועוד.

תובנות:

הממשק בין הפדגוגיה לחברת ההפקה מאוד מורכב. חברת ההפקה צריכה להבין את התכנים והמרצה את העולם הדיגיטלי. אין מנגנון לתמיכה לקורסים דיגיטלים. מומלץ למנות טכנולוג שזו מומחיותו ושלה חברת ההפקה תהיה הבנה בהוראה ובבנייה של MOOCs.

הדרישה **להתאמת הקורס לאקדמיה ומפעלים** - ככל שהמיקוד יותר מדויק קל יותר לבנות את הקורס. (לא היו דרישות קדם, מינימום השכלה). לגבי LLL יש בעייתיות כיוון שהאוכלוסייה מאוד מגוונת. לא פשוט לבנות קורס שמכסה את כל הספקטרום. כדאי לחלק את תכני הקורס לנושאים יותר ממוקדים. זה יקל על התחזוקה ויאפשר עדכון רק של מספר נדבכים.

לצורך **משיכת הקהל** מבנה המודלים משתנה מקורס רגיל. השיעור הראשון יותר אטרקטיבי ובשיעורים הבאים חוזרים ליסודות.

רכיב הלמידה האטרקטיבי ביותר הוא סרטון ווידאו באורך של 4-7 דק'. המשמעות של כך שיש לתרגם הרצה של שעתיים ל-4-7 דק'. לעיתים זה מאלץ לחלק נושא למספר פרקים. זורש שעות עבודה רבות. לעיתים נעשה שימוש בשחקנים כדי להדגים מקרה בוחן.

מומלץ **להשתמש בתכני הקורס ולשלם בקורסים באקדמיה** (לימוד עצמי, כיתה הפוכה).

יש התחייבות **לתמיכה בקורס** לאורך זמן אך לא ברור מי יתמוך כספית בכך.

חייב לקחת בחשבון **עדכון תכני הקורס** כל 4 שנים.

¹⁹ <https://campus.gov.il/course/iit-acd-rfp4-hightechethics-he>
²⁰ מתוך ראיון עם דייר נתן פנחס, טכניון (12.02.2023)

5. עיקרי הדברים והתובנות מראיונות עם אנשי מפתח בתחום ה-LLL

לצורך המחקר ראינו אנשי מפתח מהאקדמיה, המגזר הממשלתי והמגזר העסקי. מטרת הראיונות הייתה לקבל מידע האם במגזרים השונים קיימת מדיניות וחשיבה בנושא, האם קיימות תוכניות הכשרה וכיצד הן פועלות (תחומים/נושאים, היקפים, אבטחת איכות, שיטה וכד') והאם קיימת תשתית או מודל שניתן יהיה לשמש אותנו בהמלצות לקביעת מדיניות. להלן עיקרי הדברים כפי שעלו מהראיונות:

5.1 רשות החדשנות²¹

בקול קורא לפיתוח תוכניות חדשניות ופורצות דרך להגדלת ההון האנושי להייטק הישראלי של רשות החדשנות לא הוגדר בתנאי הסף דרישה למועמדים בעלי תואר ראשון. להלן פירוט של מספר תוכניות רלוונטיות בתחומי ה-STEM:

1. **Bootcamp / סיירות** – לדעתם זה מודל טוב ומוצלח.
 - תו תקן על איכות ההכשרה – בדיקה של איכות ההדרכה, איכות התכנים, הרלוונטיות לתעשייה ושיתופי פעולה עם התעשייה.
 - מעקב לאחר סיום - איכות ההשמה, אופי התעסוקה והשכר, הזמן מסיום ההכשרה הנדרש למציאת מקום עבודה.
 - משך ההכשרה - תלוי באוכלוסייה ובסוג ההכשרה. לאוכלוסייה החרדית נע בין שנה לשנה וחצי. הכשרות של אינפיניטי אורכות 4-5 חודשים עד חצי שנה. קורסי פיתוח כחצי שנה ולתפקידי צמיחה בין חודשיים לשלושה. יש גם כאלה של חודש.

2. **טכנולוגיות שבהם מתרכזת רשות החדשנות**

- Bio convergence, קלינטק, פודטק, קוונטום וטכנולוגיית חלל
- יצא קול קורא לפיתוח תוכניות חדשניות ופורצות דרך להגדלת ההון האנושי להייטק הישראלי:
 - איתור והשמה של הון אנושי מיומן במקצועות טכנולוגיים מחו"ל: עולים, זכאי חוק השבות, תושבים חוזרים ומומחים זרים, הרחבת הידע של עובדים חדשים וקיימים על מנת לשפר את מקצועיותם, תוך לימוד תחומים טכנולוגיים מתקדמים, כגון: AI, Quantum, Semiconductors & VLSI, אקלים-טק, פודטק, הרחבת הידע של עובדים חדשים וקיימים מתחום מדעי החיים ופיתוח תוכניות הכשרה מותאמות לעולם התוכן של Bio Convergence המשלב דיסציפלינות כגון ביולוגיה חישובית/ פיזיקה/ננו-טכנולוגיה/מדע החומרים/הנדסה גנטית מתקדמת/ אלקטרוניקה/ תוכנה/ אלגוריתמיקה/ בינה מלאכותית ותחומים הנדסיים נוספים ככל שיעלו,
 - הרחבת הידע של עובדים חדשים וקיימים מתחום ההנדסה והתוכנה, או/ו בעלי רקע ביטחוני ופיתוח תוכניות הכשרה מותאמות לעולם התוכן של Bio convergence המשלב דיסציפלינות כגון ביולוגיה חישובית/פיזיקה/ננו-טכנולוגיה/מדע החומרים/הנדסה גנטית מתקדמת/Bio-devices/רפואה מותאמת אישית/ידע רפואי וקליני ועוד. לדוגמא, אפשרות

²¹ מתוך ראיון שהתקיים ב-13/12/2022 עם איתי לבנון - מנהל תחום הון אנושי; ואשר נבו - מנהל תחום גיוניורים בזירה החברתית ציבורית. אחראי על מסלולי הסבות מקצוע ברשות החדשנות.

להגשת תוכניות להקניית ידע והשתלמות מעשית של עובדים מוכשרים בתחום ההייטק לעולם הבריאות, ובאופן ספציפי לעולמות תוכן שמשלבים בין דיסציפלינות. כגון, תוכנית התאפשר ניסיון מעשי בתעשייה ויצירה ותמיכה בחברות חדשות,

○ פיתוח הכשרות (Long Life Learning) LLL בכלל המקצועות הרלוונטיים להייטק, התאמת פלטפורמות ופתרונות דיגיטליים אשר יסייעו להגדלתו ולשימורו של ההון האנושי בתעשיית ההייטק ושדרוג המיומנויות של עובדי הייטק ותיקים, במטרה לאפשר את שילובם מחדש בתעשיית ההייטק המתפתחת.

- למסלול ניגשו 38 תוכניות, מתוכן נבחרו 15 תוכניות מצטיינות. התוכניות שנבחרו הן: עמותת גבהים – לקליטת העלייה, סייסקלאס, איניטק שרותי תוכנה, איט וורקס מעצמים אנשים, עייט עדכוני ידע ויישומים טכנולוגיים, לשכת המהנדסים האדריכלים והאקדמאים, SCIENCE ABROAD, רשת הבריאות (חל"צ) 8400, ביפורם מרכז ידע יישומי, פלייס איי.אל., אינפינטי לאבס אר.אנד.די, הייפראקטיבי היי-טק, איי.טי.קיו, ג'י-סטט, ת'רייב די-אקס סאס. ארבע מהן בתחום ה-LLL.
- השיקולים לבחירה מבוססים על הערכת צרכי התעשייה.
- תחומי ההכשרה בעיקר לג'וניורים אבל יש גם לסיניורים.
- מסלול סדנה לכמה חברות ביחד כדי לאפשר להן למידה משותפת.
- מנסים לייצר חיבורים בין התעשייה לאקדמיה.
- מאגד AI – בראיון עם נעמי בלנק נקבל מידע מפורט יותר.

3. כללי

- בעבר המסלולים של רשות החדשנות כווננו בעיקר לתפקידי פיתוח ובעקבות שינוי המגמות – פחות חברות הזנק ויותר חברות מלאות - התחילו להכשיר יותר לתפקידי תמיכה כמו מכירות ושיווק המיועד לקהל יעד מגוון.
- לרשות החדשנות יש שיתופי פעולה עם שירות התעסוקה.
- רשות החדשנות מממנת עלויות ישירות של ההכשרה. המימון כולל לדוגמא: מדריכים, הכשרה, לכיתות, לשכר של מנהל הפרויקט. משימות אופרטיביות, כולל מימון המעטפת כדי שההכשרה תצא לפועל אך לא שכר עובדי אדמיניסטרציה.
- לתוכניות קיים מערך ביקורת פנים ארגוני - מגדירים לו מה הם צריכים לבדוק. חלק ב-Outsourcing לבדיקת ההצלחה.
- לתוכניות יש אקרדיטציה – תעודת סיום. יש כוונה שהכשרות מעל 12 חודשים ומעלה יקבלו אקרדיטציה של האוניברסיטה הפתוחה, אוניברסיטת בן גוריון ומכללת סמי שמעון. למשל בתכנית של Bioconvergence עם אוניברסיטת בן גוריון תהיה אקרדיטציה שתקנה נקודות זכות.
- תו התקן של רשות החדשנות מקבל תוקף גם אצל מעסיקים שרואים שהכשרה היא במימון הרשות וגם בתגובות של אנשים שכותבים בקורות החיים שהכשרה היא במימון הרשות.
- יש מערך בדיקה של בודקי הון אנושי יחד עם בודקים טכנולוגיים, לבחירת התוכניות, תוך סריקה קפדנית של כל תכנית. שעות של מפגשים עם החברות, עוברים על התוכנית העסקית, עוברים על תכנית ההכשרה, תוכניות השמה, צוות המדריכים, סילבוס הכל.
- לרשות יש קושי למדוד הצלחה בקורסים המיועדים לסיניורים

4. קרן הון אנושי²²

במסגרת הקול הקורא הראשון והשני במסלול קרן הון אנושי נבחרו 49 תוכניות שונות. רוב התוכניות מתמקדות בקידום אוכלוסיות בתת-ייצוג בתעשייה - נשים, חברה ערבית, חברה חרדית ופריפריה וכן בהכשרות טכנולוגיות מתקדמות. התוכניות יכשירו כ-13,600 משתתפים בשנתיים הקרובות. בנוסף, נבחרו חמישה גופים מפעילים שמטרתם לשלב עולים ותושבים חוזרים בעלי ניסיון בתפקידי מחקר ופיתוח. הגופים יפעילו במהלך השנתיים הקרובות תוכניות לאיתור, מיון, הכשרה טכנולוגית, סדנאות Soft Skills והשמה של אוכלוסיות אלה בחברות היי-טק מקומיות.

טבלה 10: תכנית ההכשרות של רשות החדשנות

סוג תוכנית	מספר תוכניות שאושרו	סך הכול מוכשרים (בשנתיים)
ג'וניורים והכשרות חוץ-אקדמיות	16	6,615
הכשרות לאוכלוסיות בתת-ייצוג	19	3,200
הבאת הון אנושי מחו"ל	5	1,016
הכשרות בתחומי ידע מתקדמים	8	790
פלטפורמות הכשרה	1	2,000
סך הכול	49	13,621

מקור: דו"ח שנתי-מצב ההיי-טק בישראל, 2022

5.2 זרוע העבודה במשרד הכלכלה - חדשנות, מחקר והייטק במנהל תעסוקת אוכלוסיות²³

במנהל תעסוקת אוכלוסיות עוסקים בשילוב אוכלוסיות מהחברה החרדית, הערבית, נשים, יוצאי אתיופיה, אוכלוסייה מבוגרת (50 פלוס) ובעלי מוגבלויות בתעסוקה. רועי לבנון - מנהל תחום בכיר חדשנות, מחקר והייטק במנהל תעסוקת אוכלוסיות, עוסק בשלושה תחומים: מחקר, חדשנות ותעסוקה בהייטק. לגבי תעסוקה בהייטק, הכוונה לשילוב אוכלוסיות בהייטק. יש להדגיש כי ההתייחסות היא לאוכלוסיות בכללותן ולא דווקא אקדמאים בוגרי STEM.

הכשרות לבני +45 או +55

אין התייחסות לאקדמאים בוגרי STEM. האגף בוחן את מה שקורה בכלל המשק ובהייטק ובודק לפי חתך גילאים ולא לפי LLL או לפי STEM.

תוכנית אמצע הדרך ייעודה לפעול לקידום תעסוקה לאוכלוסייה הזו. המטרה להבין איך מגדילים את שיעור התעסוקה, איך לוקחים לא-מועסקים והופכים אותם למועסקים, זה הדגש המרכזי. השירותים שניתנים במסגרת התוכנית הם: ייעוץ, תהליכי ליווי, סדנאות, מנטורינג, הפנייה להכשרות במקומות אחרים. מרכזי התעסוקה נותנים פן רחב של שירותים ויש להם יעדים והם עובדים בהתאם להם. בנוסף עוסקים גם באנשים בתת מיצוי תעסוקתי, באנשים שעובדים בשכר נמוך כדי לשדרג את מצבם התעסוקתי.

²² דו"ח שנתי-מצב ההיי-טק בישראל, 2022, נספח: פעילות זירות רשות החדשנות
²³ מתוך ראיון שהתקיים עם רועי לבנון - רועי לבנון - מנהל תחום בכיר חדשנות, מחקר והייטק במנהל תעסוקת אוכלוסיות, זרוע העבודה במשרד הכלכלה. רועי אחראי על הטיפול במחסור בכוח-אדם מיומן מצד זרוע העבודה, בדגש על שילוב אוכלוסיות הנמצאות בתת-ייצוג בתעשייה, דוגמת נשים, ערבים, חרדים, יוצאי אתיופיה ועוד. זאת במטרה לסייע לחברות ההיי-טק, לקדם את יעדי הממשלה בתחום התעסוקה האיכותית ולטובת יצירת פתרונות לבעיית הפריון במשק הישראלי. לא נציג של זרוע העבודה לנושא למידה לאורך החיים.

הניסיון בהפעלת תוכניות לאוכלוסייה מבוגרת, בני 45 פלוס בתחום ההכשרות לעולם ההייטק – בפילוטמים שעשו עם הטכניון ועם הג'וינט עבור אוכלוסייה שהייתה מועסקת והפסיקה וצריכה עזרה בתעסוקה מחדש.

לפילוטמים הללו הייתה הצלחה חלקית. המסקנה הייתה שרוב האוכלוסייה המבוגרת בתוך ההייטק, שרוצה להתקדם לומדת ומתפתחת בין אם דרך החברה או באופן עצמאי. למי שהגיע לתוכניות אלה, הייתה סיבה, שהוא/היא לא הצליחו באופן אישי. אנשים שנתקעו בנישה מסוימת לאורך זמן.

כללי

אתר skillil.co.il - פלטפורמה שאמורה עשות סדר בעולם ההכשרות המקצועיות. (עובדים במקביל על מערכת נוספת, ובהמשך השנה תתקבל החלטה איזו פלטפורמה להפעיל)

מבקש לציין:

- המושג LLL רחב מדי וזה יפגע במתן המלצות אופרטיביות. מציע למולמו"פ להתמקד בהגדרה של LLL.
- קהל היעד: בעלי ניסיון מקצועי. לא אוהב את ההגדרה של בוגרי תואר ראשון ב-STEM. ממליץ להגדיר אחרת
- מימון: חושב שהמדינה לא צריכה לממן, אולי בעלות מסוימת של הכשרות מקצועיות. זו אוכלוסייה שיכולה לממן בעצמה הכשרות פרטיות.
- ההייטק לא כולל תחומים נוספים כמו למשל מהנדסים אזרחיים, המתכנתים בחברות האשראי והבנקים שהם בעלי מיומנויות של עובדי הייטק אבל עובדים במוסדות שלא מוגדרים כהייטק.

5.3 הזירה ההנדסית טכנולוגית בישראל (רשות החדשנות - מאגד AI ולשכת המהנדסים)²⁴

1. מבנה מאגד AI - AI academy -

צוות: המאגד מורכב ממנהל מקצועי שיחד עם מומחי התוכן בחברות אחראי על בחירת התכנים וכתביבתם. בנוסף יש יועצת פדגוגית שאחראית על כתיבת המשוב (צפייה בשיעורים והכנת המדרכים להוראה כאשר מדובר על הוראה בתכנים טכנולוגיים).

שיטת הלימוד: הקורסים כולם מתקיימים באופן מקוון - מקוון חי. כל השיעורים מוקלטים ומועלים לענן וזמינים לתלמידים שרוצים לחזור על החומר.

קבלה להכשרה: יש מבחן כניסה אינטרנטי. הוא נמשך 48 שעות, כאשר מתוכם 3 וחצי שעות נטו. (במהלך 48 שעות כי יש אפשרות לתקן התוצאות. קיים מעקב אחרי אלה שנוטשים ואלה שמנסים כמה פעמים עד שמצליחים)

מבנה ההכשרה: השיעורים מורכבים מ- 40% תיאוריה, 60% תרגולים.

דרישות לקבלת תעודה: 3 פרויקטים גדולים להגשה עם ציונים. משובי אמצע ומשובי סוף.

²⁴ מתוך ראיון שהתקיים ב-9/1/2023 עם נעמי בלנק - יזמת של "הזירה הטכנולוגית" ומנהלת את מאגד הכשרה AI. בעבר – בכירה בלשכת המהנדסים, האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל

פרופיל המרצים: המדריכים מגיעים מהתעשייה ומהחברות. מעט וגם מהאקדמיה. גם המרצים מהאקדמיה מעורבים בתעשייה.

אחוזי ההצלחה: בקורסים 89%.

קשיים: בניית מדדים אובייקטיבים להערכת הצלחת התוכנית שיהיו מקובלים גם על הרשות.

נושאי ההכשרות והיקפן: בשנה הראשונה היו 10 הכשרות:

- 4 הנדסת מערכת, 5 ימים כל אחת (מהבוקר עד אחר הצהריים)
- 3 הכשרות בהנדסת התוכנה - AI, 17 ימים כל אחת
- 3 חוקר AI - 21 ימים כל אחת.

מספר המשתתפים: בשנתיים הוכשרו כ- 370 מהנדסים. עד סוף השנה הזאת המטרה להגיע ל 600.

תעודת הסמכה: בסוף הקורס מקבלים תעודת הסמכה למה שהם למדו. התעודה של רשות לחדשנות 6 החברות וכמובן את academy AI (שם לגמרי שיווקי).

2. הזירה ההנדסית טכנולוגית בישראל (חל"צ)

עמותת הזירה הנדסית טכנולוגית בישראל הוקמה לפני כמה חודשים במטרה ליצור לימודי לאורך החיים (LLL) בנושאים מולטי-דיסציפלינריים. הזירה נמצאת בשלב של הכשרות בתחום הבינה המלאכותית וקורסים נוספים נמצאים כעת בבנייה.

מבנה ההכשרות: הזירה מאמצת את המודל של המאגד – לבנות תוכנית הכשרה בתאום ועם מרצים מהתעשייה, הלימוד ישלב תיאוריה עם מעשי, על מנת לקבל תעודה התלמידים יצטרכו לעמוד בפרויקטים מעשיים.

נושאים: הרחבות ספציפיות בתחומי ה-AI; תחבורה חכמה; הנדסה דיגיטלית

קהל היעד: ההכשרות צריכות להיות מותאמות לקהלי יעד שונים. לדוגמא: הכשרות AI אשר קהל היעד הוא בעיקר מהנדסים צעירים שלמדו את זה באקדמיה, והם עושים כרגע הסבה או שיפור. לעומת זאת בהנדסה הדיגיטלית מדובר במהנדסים שסיימו לפני כ- 10 שנים את התואר האקדמי - לא נגעו בתוכנה. הם כבר נושקים לגיל 40. אין להם הכשרה בכל הנושא של תוכנה ומטרת ההכשרה היא לפתוח להם את העולם הזה, לטובתם האישית ולטובת החברות, כדי שתהיה להם אפשרות להמשיך להשתלב בפרויקטים חדשניים בתוך החברות ולאפשר את המשך העסקתם.

יש שוני גם ב"לקוחות" מעבר לחברות הגדולות שלהן יש מערך ותקציבים. יש הרבה מאוד חברות שהן בינוניות וקטנות ואין להן תקציבים לפתוח בית ספר פנימי. המהנדסים שלהן נשארים לא מעודכנים. והעדכון הזה הוא מאוד חשוב ואליהם יש לכוון בנושא של הנדסה הדיגיטלית. זה קהל יעד שונה. דוגמא נוספת היא הכשרות לתחבורה חכמה, אשר בו קהל היעד הוא אחר, בעיקר גורמי ממשל כדוגמת אנשי מקצוע. ברשויות המקומיות הנדרשים לתפקידי תכנון עירוני.

3. לשכת המהנדסים

בלשכה ניתנים בעיקר קורסי חשמל וקורסים אחרים שמשד הכלכלה נותן להם הסמכה.

יש קורס "הנדסה תהליכית" (קורס בהיקף של 30-40 שעות. הוא ניתן מספר פעמים רב בשנים האחרונות והוא כבר לא כל כך פופולרי.

בעיקרון, הקורסים שהלשכה מעבירה כיום הם בעיקר קורסים המוכרים לגמול השתלמות – ללא אקדיטציה.

5.4 חברת אלביט – חברה ביטחונית, גלובלית גדולה²⁵

עולם הלמידה באלביט מתמקד ברובו באוכלוסיות ההנדסה והפיתוח, סביב 4000 עובדים. רוב התשומות מופנות אליהם ומיעוטן לכלל העובדים.

• מגוון דרכי הלמידה:

- אקדמיה - מממנים לעובדים תארים, שניים ושלישיים, וגם יש פרויקט של שומעים חופשיים כמעט בכל האוניברסיטאות. הקריטריונים ליציאה ללימודים מתקדמים: שימור עובדים ומו"פ.
- הכשרות לתפקידי ותהליכי ליבה - הכשרות ספציפיות וייחודיות, למהנדסי מערכת, למנהלים טכניים, AI, דברים שקשורים לדיסציפלינות של תוכנה, חומרה, מכניקה. למשל עבור עובדים בדרג ביניים או בתפקיד חדש שהוא יותר מורכב כמו הנדסת מערכת ומנהלי וניהול טכני. בעיקר לעובדים שהם עד כשנתיים בתפקיד.
- קטלוג הכשרות - חלקם ברשת האינטרנט חלקם פנימיים, חלקם פרונטליים.
- תכנית הכשרה חטיבתית - 4 חטיבות כל אחת מתמחה בעולם מבצעי אחר, אוויר, תקשוב וסייבר, מודיעין, ל"א ויבשה. נותנת מענה לכלל האוכלוסיות והוותיקים.
- כנסים וימי עיון חיצוניים
- מאגד AI – (פירוט בסעיף 5.3 - ראיון עם נעמי בלנק).
- קהילה לומדת ב-AI - מפגשים פעם בחודש להנגשת חומרים, ימי עיון, קורסי המשך והכשרות מתקדמות.
- זיהוי הצרכים – קיים תהליך שנקרא LNA-learning needs Analysis - איתור צרכי למידה. הוא מבוצע גם bottom-up וגם top-down.
- המרצים - מיטב המרצים חלקם פנימיים וחלקם מהאקדמיה במגוון נושאים. מביאים מרצים מאלביט, הרצאות של מנהלים בכירים, אנשי מקצוע ומרצים חיצוניים - בניהול פרויקטים.
- היקף הקורסים - קורסי הליבה הם קורסים הפרוסים לאורך השנה, 10-15 מפגשים של 9 שעות כל מפגש.
- מיקום ההדרכות – באלביט מחוץ לחברה.
- מדיניות היקף ההכשרות - אין מדיניות חלוטה מוגדרת ומפורסמת. מהנדס צעיר מקבל הכשרות בהיקף של כשלושה ימים בשנה ומהנדס וותיק כיום וחצי.
- הכשרה מובנית לעובד חדש - on the job training - שהמנהל הישיר מגדיר (מה צריך ללמוד, עם מי, לבד, דרך קורס או דרך הרשת וכן הלאה). אין תהליך סדור אחיד לכולם.
- יש חשיבה לכיוון של מסלולי למידה מובנים לפי הפרופיל העובד, ותק, תכנים והכשרות לעובד.
- אקרדיטציה – אין תהליך מסודר.
- ElbitSystem Academy - קורס של DevOps כחלק מהצורך לגייס אנשים בשת"פ עם InfinityLabs. מודל הכשרה שהיה פתוח לקהל. InfinityLabs מיינו לפי פרופיל שאלביט הגדירה. ההכשרה הייתה על חשבון InfinityLabs ונמשכה כשמונה חודשים. זה הווה כלי לגיוס והכשרה. שנה ראשונה הם הועסקו על ידם כעובדי קבלן, ומי שהיה טוב והתאים אחרי שנה נקלט באלביט כעובד. נקלטו בודדים לא יותר מעשרה.

מאגד AI – הסכה reskilling

בשיתוף עם אלביט, התעשייה האווירית ועוד כמה חברות קטנות. פרויקט הדרכתי תחת קורת גג של רשות החדשנות. פותחו 3 סוגים של קורסים כדי למלא את הפער של תחום ה-AI. לצורך מילוי הפער של הידע המעשי של התעשייה.

²⁵ מתוך ראיון שהתקיים ב-14/12/2022 עם יואב שרף – ראש תחום למידה בחברת אלביט סיסטם

יש למנהל פדגוגי, יש מנהלת למידה מבחינת המתודות, ומומחי תוכן בחברות. נבנו 3 קורסים: חוקרי AI – נמשך 21 יום, מהנדסי מערכת – נמשך 17 יום ותוכנה - שבוע. קורס מאוד ארוך של 21 יום. התוכנה הוא 17 או 18 יום ומהנדסי מערכת שבוע. הוכשרו כ 300 איש.

מי שבתוך המאגד יכול לצפות בתכנים. נבנה סילבוס ששילב גם תחומים וגם מרצים מהתעשייה. זאת אומרת, מרצים מהחברות יש אנשים שהם מומחים ב AI ועושים את זה ביומיום יחד עם מרצים מהשורה הראשונה באקדמיה שמעבירים את התכנים ותרגולים. נבנתה גם תכנה שאפשר להריץ תרגולים מאוד מורכבים למה שהם לומדים.

זה מועבר בזום עם מבחנים והתנסויות ופרויקטים. הקורס הוקלט והועלה לענן. זה לא פתוח לכולם רק לחברות במאגד.

חברי המאגד משקיעים בזה כסף, במצינוג עם הרשות לחדשנות. ולכן זה פתוח רק לאנשים שהשתתפו.

הפעילות במאגד בנושא AI בנויה משני וקטורים, אחד הקורסים ויש קהילה לומדת מפגש אחת לחודש. כל פעם בחברה אחרת עם הרצאות ממיטב המרצים כדי לשמר ולקדם. כל החומרים נמצאים וזמינים בענן.

5.5 חברת תדביק²⁶

חברה בינונית שעוברת תהליך לקראת תעשייה 4.0. כל המשאבים מושקעים בכך ולכן התקציב ל-LLL מוגבל.

לפיתוח ושימור עובדים יש הדרכות פנימיות. ההדרכות החיצוניות הן קצרות (יומיים-שלושה):

- מכון התקנים - הכשרות של נאמני איכות.
- מנהל ייצור (מהנדס אלקטרוניקה) – סיור בגרמניה של תעשייה 4.0 (מסלולים לימודיים שבני אמויאל מארגן)
- מובילי מצוינות (ייצור רזה ועוד..)

5.6 אקדמיה – מכללות²⁷

מכללת עזריאלי

כיום יש תכנית הכשרה בשיתוף עם הטכניון.

בימים אלה החלה המכללה במהלך של פיתוח LLL כחלק ממרכז חדש שמתוכנן - פיתוח מרכז E³ העוסק בנושא של הרצף החינוכי – נוער – חדשנות בהוראת הנדסה – לימוד לאורך החיים. אנו עוסקים בימים אלה בגיבוש האסטרטגיה של המרכז הזה.

הצעד הבא שלנו לקיים מפגש עם אנשי תעשייה כדי לראות מה מהצרכים, איך הם רואים את הדבר הזה? האם הם בכלל מעוניינים? יש להם עניין בנושא ואם כן איך? איך הם מסתכלים על המסגרת שבה ההשתלמויות האלה יתבצעו? האם יש כיוונים מסוימים שיותר חשובים לתעשייה וכדאי להתמקד בהם?

²⁶ מתוך ראיון שהתקיים ב-28/11/2022 עם ירון מיכאלוביץ' - מנכ"לית של חברת תדביק טכנולוגיות
²⁷ מתוך ראיון שהתקיים ב-6/2/2023 עם פרופ' רוזה אזהרי, הנשיאה של מכללת עזריאלי- מכללה אקדמית להנדסה ירושלים מכהנת בתפקיד יו"ר ועד ראשי המכללות, המייצג את 23 המכללות הציבוריות בישראל.

כנקודת התחלה, תפקיד המכללה כנותני שירות באזור ירושלים, כי מכללת עזריאלי היא המכללה היחידה להנדסה בעיר שמלמדת מגוון מאוד רחב של תארים בהנדסה, ומתמקדת בהנדסה. זאת בעצם האידיאולוגיה של המכללה, להיות מוקד של ידע בהנדסה בעיר ולעזור לפיתוח של התעשייה וכל נושא ההנדסה בירושלים.

השלב הראשון הוא בדיקת הצורך. זאת אומרת לדבר עם התעשייה ולראות מה הצרכים שלהם. עד היום לא קיבלנו פניות מהתעשייה ולכן השלב הראשון זה להעלות את הנושא למודעות בפני התעשייה, לדבר לראות האם ישנם איזשהם נושאים ספציפיים שהם מעוניינים בהם וחושבים שיתרמו.

המודל שאנחנו חושבים עליו בנושא LLL הוא מודל של אשכולות, זאת אומרת. מעין לימודי צבירה או כמו מיקרו תארים. ניתן יהיה ללמוד אשכול, מי שיסיים אשכול יקבל תעודה. מי שישלים מספר אשכולות בהיקף שנדרש כדי לקבל תואר שני - יוכל גם לקבל תואר שני. יש לזה כמה בעיות, בעיקר תקציביות מול המל"ג. אבל כבר התחלנו לדבר איתם על הנושא הזה.

קיבלנו תקציב מקרן עזריאלי לחמש שנים וזה מאפשר לקדם את הנושא. לצורך כך המכללה מגייסת מנהל שיוכיל וידחוף את הנושא הזה וייצור את הקשר עם התעשייה.

הנקודה החשובה ביותר בתהליך של פיתוח תכנית LLL במכללת עזריאלי זה הרצון של התעשייה לשתף פעולה. אני רואה בכך משמעות וכדאיות להשקיע רק אם באמת קיים צורך. אם לא קיים צורך הזה בתעשייה אז זה לא יעבוד. חייב להיות צורך אמיתי וחייבים לחבר בין הצרכים של התעשייה לבין מה שהמכללות יכולות להציע, המטרה לגייס מרצים מהתעשייה שיבואו ובאמת יתנו הכשרות בנושאים הנדרשים. היום דווקא אנחנו צריכים את חזית הידע מהתעשייה, גם על ידי אנשים שגם יודעים מה ואיך התעשייה עובדת ומה בדיוק נדרש. חייב להיות שילוב - הם יביאו את הידע, אנחנו נביא את היכולת שלנו לקבוע את הסטנדרטים האקדמיים ואת המסגרת האקדמית שצריך לקורסים מהסוג הזה. אז אם באמת הצורך קיים שיתוף הפעולה יכול להיות מאוד מוצלח.

לדעתי יש צורך. הבוגרים שלנו מעלים כל מיני נושאים לקורסים נדרשים ויחידת הבוגרים שלנו נערת ויוזמת קורסים לבוגרים. אבל זה לא מוסדר אפילו לא כלימודי תעודה.

פורום ראשי המכללות

למכללות אין מדיניות משותפת בנושא ולא דנו בזה בפורום של המכללות. המקום היחידי שנושא זה נדון בצורה משמעותית זה בפורום המהנדסים למאה ה-21 שחברות בו גם המכללות להנדסה. כרגע כל מכללה מתייחסת לנושא זה מנקודת המבט שלה.

אני בהחלט חושבת שיש נכונות לדבר הזה, וגם הפיזור הגיאוגרפי של המכללות מאוד עוזר לעניין. בראויה בצפון, סמי שמעון בדרום, אנחנו בירושלים, אפקה בתל אביב וכד'. אני בהחלט חושבת שיש נכונות.

אני חושבת שאנחנו יכולים להיות הפיילוט ואם זה יצליח, ניתן יהיה לקחת את המודל הזה ולהחיל אותו בכל המכללות.

5.7 בראויה

במסגרת ההפרדות של מכללת בראויה מרשת אורט, עלו היבטי חוקיים ליכולת לקיים הכשרות של LLL במכללה. כרגע מתקיימת תוכנית אחת בלבד בנושא ייצור מתקדם בשיתוף עם מכון הייצור מתקדם ותפן. התקיים קורס עם 25 משתתפים, ובימים אלה מתחיל קורס נוסף. קורס זה אינו מחייב תואר אקדמי.

5.8 סיכום ותובנות מהראיונות

בחברות שרואיינו (אלביט וחברת תדביק) עלה נושא המיומנויות הרכות (עבודת הצוות, ניהול הזמן, פתרון בעיות ובתקשורת הבין אישית) כנושא חשוב ומהשטח עולה כי יש צורך בהכשרות בתחומים אלה.

נדרשת הכשרה לבני +45. צריך להיות מאמץ משותף של המגזר הממשלתי והמגזר העסקי. ההכשרות בתחומים האלה הן מאוד מאוד יקרות. ברשות החדשנות קיימת תכנית אחת שהיא יותר השמה ולא הכשרה.

צריך לבנות תוכניות LLL על ציר לאורך הרבה זמן ולעשות אינטגרציה מולטי-דיסציפלינריות. כי יש פה שני היבטים, האחד תפיסתי, הבנה שעולם הוא מאוד אינטגרטיבי, צריך לעשות כל הזמן את ההכנה לחיבורים עם עוד דיסציפלינות. ודבר שני, לתת סל כלים ולהיות חשופים לטכנולוגיות ולכיוונים כדי לדעת לעשות את האינטגרציה.

6. סיכום חלק א'

במפוי שבוצע נכון ל-31/01/2023 נמצאו 132 תוכניות LLL במוסדות ובארגונים השונים, העונות לקריטריונים שנקבעו למחקר זה. 43% מהתוכניות הן במסגרות מוסדות להשכלה גבוהה (בדרך כלל דרך היחידות ללימודי המשך או לימודי חוץ), 34% באוניברסיטאות ו-8% במכללות האקדמיות. 57% מהתוכניות ניתנות דרך מכללות פרטיות, ארגונים או חברות. הגופים המובילים במספר ההכשרות הם: טכניון (15); CivilEng Academy (15); לשכת המהנדסים האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל (10); אוניברסיטת בן-גוריון (8) ואוניברסיטת תל אביב (8).

תחומי ההכשרות הם מגוונים, רובם בתחומי התוכנה, Data Science/Analysis, ניהול, מחשבים והייטק. 58% מתוכניות ה-LLL שמופּו מיועדות לשיפור (upskilling) של מיומנויות העובדים בתחומם ורק מיעוטן 13% להסבה מקצועית (reskilling). 28% הן תוכניות המיועדות גם לשיפור וגם להסבה.

מחצית מתוכניות הלימודים במאגר מועברות פרונטלית ו-30% נוספים באופן היברידי ורק 20% באופן מקוון מלא. יוצאות מכלל זה הן המכללות האקדמיות שבהן 40% מהקורסים ניתנים באופן מקוון.

37% מסך תוכניות ה-LLL שמופּו הן תוכניות קצרות, בהיקף של עד 50 שעות לימוד. בארגונים וחברות 64% מהתוכניות הן בהיקף זה בשל הזמן היקר של העובדים ונראה שגם המכללות התאימו עצמן להיקף זה של תוכניות. באוניברסיטאות לעומת זאת 80% מהתוכניות ארוכות יותר ורבע מהתוכניות הן מעל 400 שעות לימוד, דבר הנובע מאופיין השונה של התוכניות הנלמדות באוניברסיטאות.

בכל המוסדות והארגונים שנסקרו סגל ההוראה ברובו מהתעשייה. באוניברסיטאות ובמכללות האקדמיות יש נטייה גדולה יותר לבסס לימודי המשך על הסגל האקדמי.

התעודה שניתנת בתוכניות אלה מעידה על סיום התוכנית/הקורס מטעם האוניברסיטה/ המכללה/ הארגון שבו נלמד הקורס. בחלק מהתוכניות/קורסים ניתנת גם תעודה מטעם גוף שמכיר בקורס. רק לגבי מיעוט מהתוכניות ניתן היה למצוא באתרי האינטרנט התייחסות לנושא אבטחת איכות ואקדיטציה של התוכניות.

היקף מספר המשתתפים בתוכניות אלה אינו גבוהה²⁸. לימודי הרפואה הוחרגו מהערכה הכללית מאחר ונראה כי בתחומי הרפואה קיימות תוכניות הכשרה וכן הענות להן. מספר משתתפים (ללא רפואה) עמד על 6,189. מספר המשתתפים בתוכניות LLL במכללות הפרטיות הוא הגבוהה ביותר, כאשר 75% הם במכללה הפרטית SQLabs – המעבירה בעיקר תוכניות בתחום התוכנה, Data Science, Big Data, אינטליגנציה מלאכותית (AI), מערכות מידע, אינטרנט, ממשקי end-front וכד'. בין האוניברסיטאות הטכניות הוא המוביל הן במספר התוכניות והן במספר המשתתפים בתוכניות LLL (ללא רפואה), 15 תוכניות בנושאים מגוונים עם 1817 משתתפים.

במסגרת המחקר נבחנו שתי תשתיות/פלטפורמות קיימות המשמשות ל-LLL:

- אתר עבודאטה - נמצא כי אין באתר התייחסות או אפשרות לבצע חיפוש ללימודי המשך לאקדמאים בתחומי ה-STEM. מהתרשמות שלנו האתר מיועד לספק מידע לאנשים המעוניינים לקבל מידע לגבי תחומי עיסוק ובחירת התחלת קריירה.
- אתר קמפוס IL - הפלטפורמה של קמפוס. IL רחבה ופתוחה לכולם, יש בה מעט קורסים המיועדים לבעלי תארים ותהליך ההערכה אינו מתאים למסגרת LLL כפי שהוגדר בדוח זה.

במסגרת המחקר רואיינו אנשי מפתח מהאקדמיה, המגזר הממשלתי ומהמגזר העסקי. מטרת הראיונות הייתה לקבל מידע האם במגזרים השונים קיימת מדיניות וחשיבה בנושא, האם קיימות תוכניות הכשרה וכיצד הן והאם קיימת תשתית או מודל שניתן יהיה לשמש אותנו בהמלצות לקביעת מדיניות. בחברות שרואיינו עלה צורך להכשרות של מיומנויות הרכות/חיוניות (עבודת הצוות, ניהול הזמן, פתרון בעיות ובתקשורת הבין אישית). בראיונות עם גופים ממשלתיים עלה הצורך להכשרה לבני +45. צריך להיות מאמץ משותף של המגזר הממשלתי והמגזר העסקי. ההכשרות בתחומים האלה הן מאוד מאוד יקרות. ברשות החדשנות קיימת תכנית אחת שהיא יותר השמה ולא הכשרה. תובנה נוספת שעלתה מהראיונות היא כי צריך לבנות תוכניות LLL על ציר לאורך הרבה זמן ולעשות אינטגרציה מולטי-דיסציפלינריות. כיום הטכנולוגיות הן משולבות תחומים ודיסציפלינות לכן יש צורך לתשתית הכשרות המכינה את כוח האדם הקיים והעתידי לחיבורים בין תחומים ולשינויים המתרחשים כל הזמן בעולם התעסוקה.

²⁸ הערכה של היקף מספר המשתתפים מתבסס על שליש מ-132 התוכניות שנסקרו.

7. נספחים לחלק א

7.1 נספח א' – רשימת הגופים שנסקרו למיפוי (כולל גופים שלא נכללו היות שלא עמדו בקריטריונים שהוגדרו לתוכניות LLL במחקר זה)

טבלה 11: רשימת הארגונים שנסקרו עבור המיפוי

מספר תוכניות	שם המוסד
	אוניברסיטאות
15	טכניון
8	אוניברסיטת בן-גוריון
8	אוניברסיטת תל אביב
3	אוניברסיטת בר אילן
3	אוניברסיטת אריאל
2	אוניברסיטה העברית
2	אוניברסיטת חיפה
2	אוניברסיטת רייכמן (הביו-תחומי)
2	האוניברסיטה הפתוחה
	מכללות טכנולוגיות אקדמיות
5	ש סמי שמעון"להנדסה ע המכללה האקדמית SCE
1	עזריאלי - מכללה אקדמית להנדסה
1	מכללת אפקה
1	המכללה האקדמית כנרת
1	המכון הטכנולוגי חולון HIT
1	המרכז האקדמי רופין
1	המכללה האקדמית להנדסה בראודה
לא נכלל	מכללת שנקר
לא נכלל	המרכז האקדמי לב
לא נכלל	מכללת תל חי
לא נכלל	מכללת בצלאל
	מכללות טכנולוגיות פרטיות
15	CivilEng Academy
8	SQLink מבית, SQLabs
6	NAYA Academy
3	Experis Academy
2	היחידה ללימודי חוץ
2	DSP-IP AI
1	עמותת בוגרי 8200
לא נכלל	Masterschool
לא נכלל	אינפיניטי לאב
לא נכלל	https://www.sela.co.il/college
לא נכלל	ECOLEADERS
לא נכלל	גוף הכשרה "רבטק"
לא נכלל	מפתחים – מצוינות בהייטק
לא נכלל	תכנית MeGo
לא נכלל	מטריקס
לא נכלל	Talent Junction45
לא נכלל	קודינג אקדמי
לא נכלל	אלביישן Academy Elevation
לא נכלל	Developers Institute
לא נכלל	WebAhead coding bootcamp

שם המוסד	מספר תוכניות
עמותת טק-קריירה	לא נכלל
ITC	לא נכלל
johnbryce (matrix)	לא נכלל
עתיד רשת מכללות טכנולוגיות	לא נכלל
מכון היצוא - המכללה ליצוא ולשיווק בינלאומי	לא נכלל
מכללת אינטלקט אקדמון	לא נכלל
קרן ידע הנדסי-אקדמי	לא נכלל
Fast Lane Israel	לא נכלל
ג'ולט (JOLT)	לא נכלל
המקפצה - Jumpin	לא נכלל
ThriveDX	לא נכלל
מכללת אתגר	לא נכלל
ארגונים	
לשכת המהנדסים האדריכלים והאקדמאים	10
ארגון המהנדסים והאדריכלים העצמאיים בישראל	5
איגוד המהנדסים לבנייה ולתשתיות	3
הזנק לעתיד	2
המועצה הישראלית לבנייה ירוקה	1
מנהיגות עסקית צעירה	1
מונה - האקדמיה היישומית להייטק	1
עמותת אלזהראוי	1
Takwin	1
סיראג' - לקידום הייטק בחברה הבדואית	1
צופן מרכזי טכנולוגיה עילית	1
ה"לשכה לטכנולוגית המידע בישראל" The Israeli Technology Chamber of Information	לא נכלל
התאגדות מהנדסי חשמל ואלקטרוניקה בישראל	לא נכלל
עמותת נצרת לתרבות ותיירות - עמותה לעידוד וקידום התפתחות בחברה הערבי-הכשרה ותעסוקה	לא נכלל
she codes	לא נכלל
עמותת itworks מעצימים אנשים	לא נכלל
האיגוד הישראלי לתעשיות בשותפות עם BR.IL מתקדמות	לא נכלל
אלביישן אדיוקיישן	לא נכלל
ScienceAbroad	לא נכלל
עמותת גבהים- עמותה לקליטת עלייה	לא נכלל
תכנית "Starship"	לא נכלל
חברות	
חברת NESS	1
EMG Soft Trainnig	1
אינטל	לא נכלל
Elbit Systems	לא נכלל
צ'ק פוינט	לא נכלל
חברת Techlinic	לא נכלל
Microsoft	לא נכלל
PTC University	לא נכלל
סייבר - פרו ישראל בע"מ - CYBERPRO Israel	לא נכלל
הוד פתרונות ענן בע"מ (CRM-PERIOD)	לא נכלל
Dicomano	לא נכלל
לייטיקו	לא נכלל
חברת לגאסי	לא נכלל
retrain.ai	לא נכלל
HackerU	לא נכלל

חלק ב' - אפיון צרכים לתחומי ידע חדשים להשלמה במנגנונים של לימוד לאורך החיים

איתור תחומי ידע וטכנולוגיות חדשות המתגבשים במסגרת המשק הישראלי הנו מהלך נחוץ על מנת לעודד קידום של הכשרות של ההון האנושי ההנדסי והמדעי הפועל במשק, להכשירו ולהתאימו (upskilling and reskilling) להתפתחויות העתידיות כחלק מהתהליך אסטרטגי מובנה ומסודר ולא כמענה חרום לפערים שנוצרים וצפים על פני השטח.

לצורך כך, כחלק מעבודה זו, זוהו 13 טכנולוגיות/ תחומי ידע מתקדמים ומפציעים מתוך מטרה לבחון את החפיפה בינם ובין הפעילויות הקיימות כבר במסגרות של לימוד לאורך החיים הפועלות כיום ולאתר פערים כדי לעודד את המסגרות הללו ואחרות לתת להם מענה.

הטכנולוגיות ותחומי הידע המתקדמים נבחרו מתוך עבודות שנעשו בשנים האחרונות במוסד שמואל נאמן²⁹ ומתוך תחומי עדיפות שזוהו בשני דוחות שפורסמו ב-2022^{30,31}: דו"ח המועצה הלאומית למו"פ – החלטה על תחומי עדיפות למו"פ אזרחי בישראל ודו"ח של המשרד למודיעין והמשרד לחדשנות, מדע וטכנולוגיה – הצבעה על פוטנציאל טכנולוגיות מפציעות כמצע מודיעיני לתכנון אסטרטגי ולקידום העליונות הטכנולוגית הישראלית.

להלן רשימת הטכנולוגיות והתחומים שנכללים בעבודה הנוכחית:

1. **בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה**
2. **תעשייה 4.0 והנדסה דיגיטלית**
3. **הדפסה תלת-מימד של חומרים מתקדמים, טכנולוגיות ויישומים**
4. **ערים חכמות**
5. **פוטוניקה ופוטוניקה משולבת**
6. **שילוב רב תחומי ביולוגיה, תוכנה והנדסה לעולם הרפואה (Bio - Convergence)**
7. **רפואה מדייקת וגנומיקה**
8. **אגרוטק וחקלאות מדייקת**
9. **מקורות מזון אלטרנטיביים**
10. **אגירת אנרגיה**
11. **הים כמשאב לאומי**
12. **תעשיית החלל**
13. **תקשורת לוויינים**

במסגרת חלק זה של העבודה, נעשה ניתוח עבור כל אחד מהתחומים והטכנולוגיות נעשה, תוך התייחסות למספר מרכיבים: המצב הקיים, צרכי השוק והפער הקיים בהכשרה, מנקודת מבט של לימוד לאורך החיים (LLL) – האם קיימת הכשרה לתחום/טכנולוגיה, מה צרכי כוח האדם הנדרש לעבודה בתחום, ניתוח הפערים בין הקיים לנדרש והמלצות להשלמת הפערים שנמצאו באמצעות הכשרות במסגרות של לימוד לאורך החיים.

²⁹ תחזיות לצרכי כח אדם מדעי וטכנולוגיה, ד.ג.צ. בוכניק, ו.גלעד, א.ברזני, א.רוה, מוסד שמואל נאמן בטכניון, דו"ח למו"פ, דצמבר 2020

³⁰ החלטה על תחומי עדיפות לאומיות למו"פ אזרחי בישראל, המועצה הלאומית למו"פ, 2022
³¹ הצבעה על פוטנציאל טכנולוגיות מפציעות כמצע מודיעיני לתכנון אסטרטגי ולקידום העליונות הטכנולוגית הישראלית, המשרד למודיעין והמשרד לחדשנות, מדע וטכנולוגיה, 2022

חלק ב' - אפיון
צרכים לתחומי ידע
חדשים להשלמה
במגנטונים של
לימוד לאורך
החיים

1. בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה

1.1 רקע³²

פרק זה עוסק בשלושה תחומים נרחבים הקשורים זה לזה: בינה מלאכותית (Artificial Intelligence), מדעי הנתונים (Data Science) ורובוטיקה חכמה (Smart Robotics).

בינה מלאכותית מוגדרת בצורה רחבה כ: "כל שיטה לתכנות מחשבים המאפשרת להם להוציא לפועל מטלות או דרכי התנהגות שהיו מחייבות אינטליגנציה אילו היו מבוצעות על-ידי בני-אדם" (National Academy of Sciences, 2018).

הטכנולוגיות הרלוונטיות לתחום מדעי הנתונים הן:

טכנולוגיות לאיסוף מידע: טכנולוגיות האוספות מידע לשימושים שונים, כגון האינטרנט של הדברים.

טכנולוגיות לעיבוד וניתוח מידע: טכנולוגיות לכריית מידע (data mining), ויזואליזציה של המידע, חיזוי אנליטי (predictive analytics) ופענוח משמעויות.

טכנולוגיות מבוססות-בלוקצ'יין: טכנולוגיות בלוקצ'יין ליצירת אלגוריתמים אוטונומיים וחוזים חכמים.

המונח 'רובוטיקה חכמה' מצביע על קשר בין רובוטים או מפעילים (אקטואטורים) בעולם הפיזי לבין בינה מלאכותית. האיחוד האירופי מייחס את התכונות הבאות ל'רובוט אוטונומי חכם'. Autonomous Smart Robot (Nevejans, 2017): רוכש אוטונומיה באמצעות חיישנים ו/או על ידי חילופי נתונים עם הסביבה שלו וסחר וניתוח נתוני, בעל למידה עצמית (קריטריון אופציונלי), בעל תמיכה פיזית, מתאים את התנהגותו ופעולותיו לסביבתו.

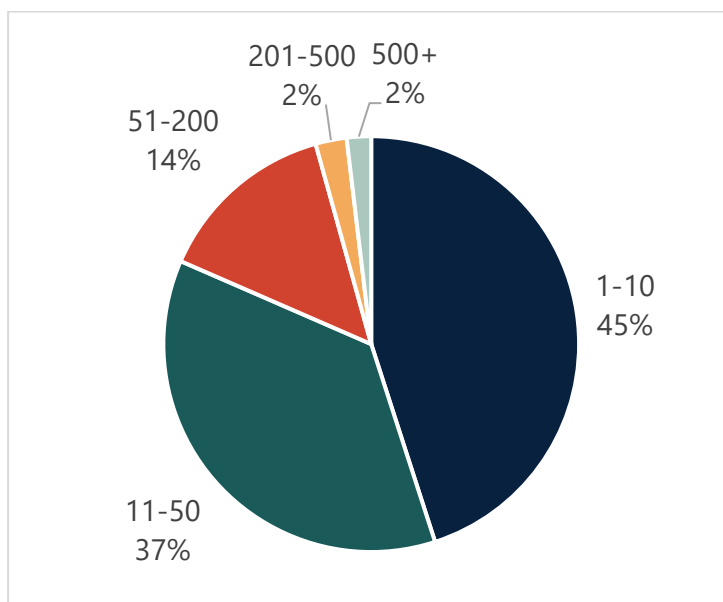
1.2 חברות בתחום הבינה המלאכותית בישראל

נכון ל-2/2023 היו בישראל 1905 חברות טכנולוגיה שתויגו במאגר ה-Startup Nation Central Finder בלפחות אחת מהתגיות הבאות: 'artificial-' or 'machine-learning' or 'big-data-analytics'. מעל 66% מחברות אלו הוקמו בשנים 2016-2023 (1258 חברות). בשנים 2016-2020 הוקמו בממוצע 200 חברות לשנה. עשר חברות הוקמו בשנות התשעים, חברות שהנן וותיקות בתחום ומעסיקות ברובן מעל 200 עובדים – NICE, RADCOM, Essence, G-STAT, Mobileye ועוד. משנת 2021 ניתן לראות ירידה במספר החברות, ניתן להסביר זאת על ידי משבר מגפת הקורונה וגם חברות שטרם עודכנו באתר ויתכן והמספר יעלה בהמשך.

כמחצית מהחברות הן חברות קטנות שיש בהן עד 10 עובדים. 37% מהחברות מונות בין 11 ל-50 עובדים, 14% הן חברות גדולות המעסיקות 50 עד 200 עובדים. אחוז החברות המעסיקות מעל 200 עובדים נמוך מאוד ועומד על כ-4%.

³² פרק זה לקוח מתוך עבודה שנעשתה במוסד נאמן בנושא בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה: ג' דפנה, כץ-שחם אושרת, קליין רינת, צ'נה רועי, רוזנברג שלמה, שהם אבידע, ברזני אלה, לק ערן, ציפרפל סימה. בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה - דו"ח ראשון חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2018.

איור 6: חברות בתחום הבינה המלאכותית לפי מספר עובדים

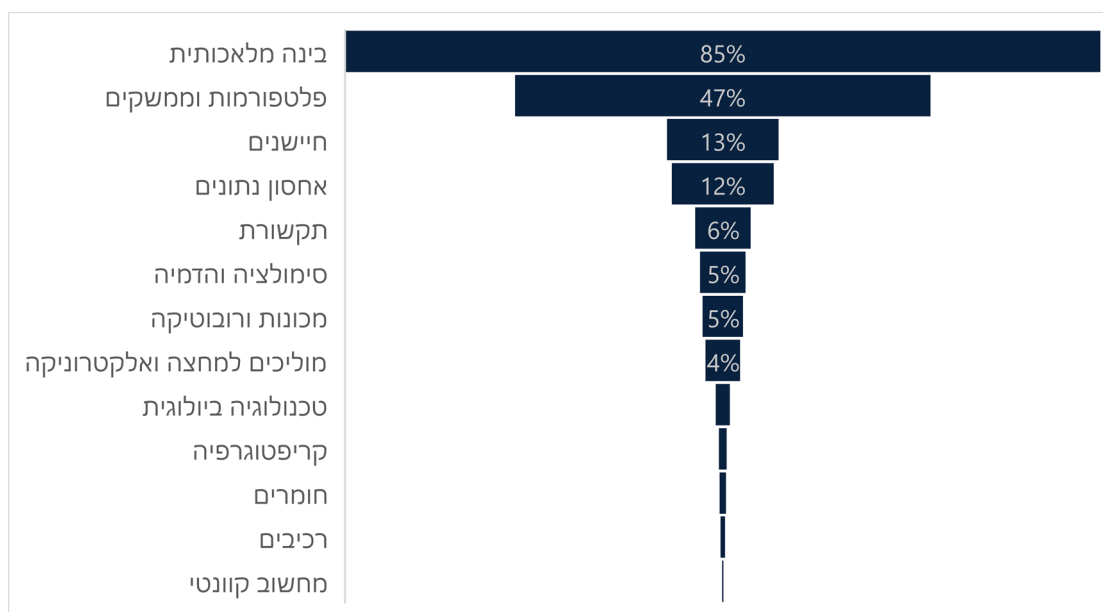


מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

חברות אלו פועלות בסקטורים מגוונים. ארבעת הסקטורים המובילים שביחד מהווים יותר מ-60% ממספר החברות הם: Retail & Security Technologies; Marketing; Life Sciences & HealthTech; Enterprise, IT & Data Infrastructure.

בבחינה של טכנולוגיות הליבה של חברות אלה, 85% מחברות העוסקות בבינה מלאכותית טכנולוגית הליבה שלהן היא בינה מלאכותית. 47% פלטפורמות וממשקים 13% חיישנים ו-12% אחסון ותקשורת (המספרים אינם מסתכמים ל-100% מאחר ולחברה יכולים להיות מספר טכנולוגיות ליבה).

איור 7: הטכנולוגיות העיקריות של חברות תעשייתיות בבינה מלאכותית בישראל



מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

1.3 תחומי תואר/ ידע בסיסי רלבנטיים לתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה

המסלולים האקדמיים סווגו לפי שבע קטגוריות עיקריות: 1. מערכות מידע/מדעי הנתונים; 2. בינה מלאכותית/ למידת מכונה/מע' נבונות/ מע' מבוזרות; 3. ביו-אינפורמטיקה / קוגניציה / פסיכולוגיה בדגש לימודי מידע; 4. מסלול משולב מע' נבונות/לומדות ומדעי המידע; 5. רובוטיקה/מע' אוטונומיות; 6. מסלולים כלליים ללא התמחות - מגוון קורסים; 7. מסלולים כלליים - קורסים בודדים.

1. מערכות מידע / מדעי הנתונים

הסיווג ניתן במידה והמסלול הוגדר כתואר בהנדסת נתונים ומידע, תואר במערכות מידע או כמגמה / התמחות / מקבץ / הקבץ / אשכול / מסלול בתחום לימודי המידע.

בין הקורסים הנפוצים בסיווג זה: מבוא להנדסת נתונים ומידע, ניהול מידע מבוזר, אחזור מידע, כריית מידע, ביג דאטה, מדעי הנתונים ובינה עסקית, בסיסי נתונים, מבוא למדעי המידע, ניהול מערכות מידע ועוד.

יש לציין, כי בסיווג זה, בנוסף על קורסים הקשורים ללימודי המידע, ניתנים גם מגוון קורסים בבינה מלאכותית, למידת מכונה, אלגוריתמים מבוזרים ועוד, גם אם ברמת המבוא. כמו כן, ניתן דגש על לימודי סטטיסטיקה, מתמטיקה ותכנות.

עיקר המסלולים ניתנים בפקולטות להנדסת תעשייה וניהול/ מערכות מידע, ניהול ומדעי המחשב.

2. בינה מלאכותית / למידת מכונה / מע' נבונות / מע' מבוזרות

הסיווג ניתן במידה והמסלול הוגדר כמגמה/ התמחות/ מקבץ/ הקבץ/ אשכול/ מסלול בלמידה ובינה מלאכותית/ מערכות מבוזרות/ ראייה ממוחשבת/ למידה ממוחשבת וכל התמחות אחרת הנושקת לתחום בינה מלאכותית.

בין הקורסים הנפוצים בסיווג זה: מבוא לבינה מלאכותית, מבוא למערכות לומדות, למידה חישובית, עיבוד שפות טבעיות, ראייה ממוחשבת, מבוא לרשתות עצביות, למידה ממוכנת, למידה עמוקה, מערכות נבונות ועוד.

יש לציין כי בסיווג זה, בנוסף לקורסים הקשורים ללימוד מכונה, בינה מלאכותית וראייה ממוחשבת, ניתנים מגוון קורסים בלימודי מידע, ממשק אדם-מכונה, רובוטיקה וכן ניתן דגש על קורסי מתמטיקה ותכנות ברמה גבוהה.

עיקר המסלולים ניתנים בפקולטות למדעי המחשב, הנדסת חשמל וניהול.

3. ביו-אינפורמטיקה / קוגניציה / פסיכולוגיה בדגש לימודי מידע

הסיווג ניתן למסלולים, המוגדרים כתואר בביו-אינפורמטיקה/ ביולוגיה חישובית או שילוב של ביולוגיה/ מדעי המוח/ פסיכולוגיה עם מדעי המחשב.

בין הקורסים הנפוצים בסיווג זה: מבוא לביו-אינפורמטיקה, חישוביות וקוגניציה, אלגוריתמים בביולוגיה חישובית, מבוא לממשק אדם מחשב, בסיסי נתונים בביו-אינפורמטיקה, רשתות עצביות ועוד.

חלק גדול מהמסלולים הנם מסלולים משותפים לשתי פקולטות – פקולטה מדעית ומדעי המחשב.

4. מסלול משולב מע' נבונות / לומדות ומדעי המידע

סיווג זה משלב את ההתמחות הן בבינה מלאכותית/למידת מכונה והן את לימודי המידע. מסלולים כגון: "אשכול מערכות נבונות ומדע המידע", "תואר שני עם התמחות בבינה מלאכותית (כולל אחזור מידע ורובוטיקה)", "חטיבת לימודים בעיבוד אותות ולמידה חישובית" ועוד, משולבים בתוך הסיווג מכיוון שהתפלגות הקורסים בשני הנושאים היא כמעט שווה.

מסלולים כאלה קיימים במספר פקולטות למדעי המחשב בתואר ראשון ונפוצים יותר בתארים מתקדמים, שם הם קיימים בפקולטות להנדסת תעשייה וניהול, פקולטות להנדסה ומדעי המחשב.

5. רובוטיקה / מע' אוטונומיות

סיווג זה משלב קבוצות התמחות ברובוטיקה/ מערכות אוטונומיות ונפוץ בעיקר בפקולטות להנדסת מכונות, הנדסת אווירונאוטיקה וחלל, הנדסת חשמל והנדסה אזרחית וסביבתית.

בין הקורסים הקשורים ל"רובוטיקה חכמה" ניתן למצוא: למידה ותכנון במערכות דינמיות, מבוא לרובוטיקה, בקרה אוטומטית של כלי טיס, מערכות חלל מבוצרות, קינמטיקה, דינמיקה ובקרה של רובוטים, ממשק אדם-מחשב ועוד.

יש לציין, כי נוסף על הקורסים בתחום רובוטיקה ומערכות אוטונומיות, במסלולים הללו נלמדים קורסים הקשורים לבינה מלאכותית, למידת מכונה וראייה ממוחשבת.

6. מסלולים כלליים ללא התמחות - מגוון קורסים

בסיווג זה נכללים מסלולים כלליים, בדרך כלל בפקולטות למדעי המחשב או בפקולטות להנדסה, כאשר לא קיים מסלול התמחות מוגדר, אך מוצע מגוון גדול של קורסים בנושא בינה מלאכותית, למידת מכונה, ראייה ממוחשבת, מדעי הנתונים, ממשק אדם-מכונה ועוד. בנוסף לקורסים, מוצעים מגוון סמינרים ופרויקטים בתחומי הלימוד הללו.

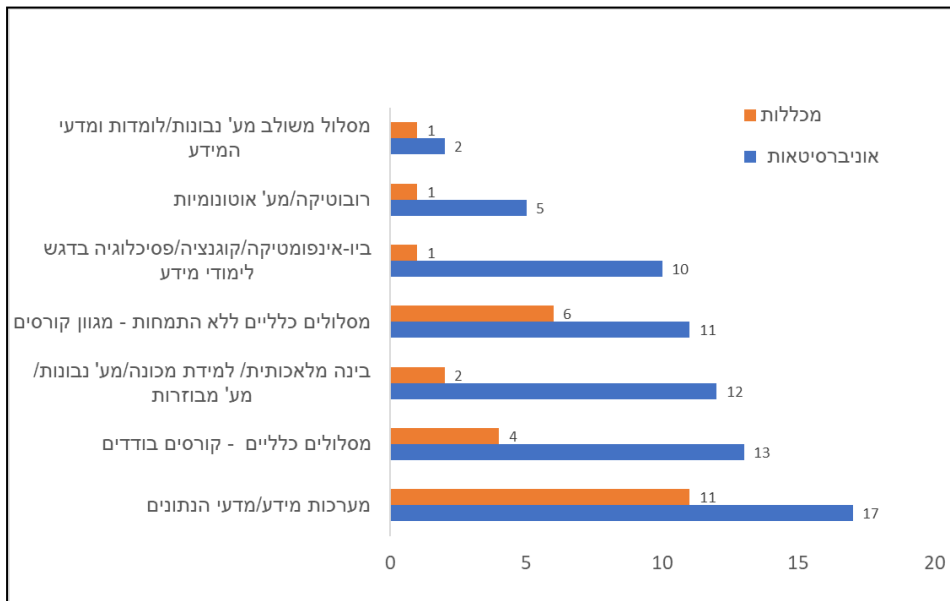
7. מסלולים כלליים - קורסים בודדים

בסיווג זה נכללות פקולטות, המציעות קורס אחד או שניים בנושא הנושק לבינה מלאכותית ומדעי הנתונים. בין השאר מדובר בפקולטות להנדסה, מדעי חברה והרוח, מדעים, מתמטיקה וכדומה.

בין הקורסים המוצעים, ניתן לכלול את נושאים מתקדמים בניתוח נתונים ברפואה ובריאות הציבור, מבוא לביג דאטה (Big Data) גאו-מרחביים, מבוא לבלשנות חישובית, מהפכת ה-Big Data במבט ביקורתי, יסודות מתמטיים ללמידה מכונה, ראייה ממוחשבת - יישומים ברפואה ועוד.

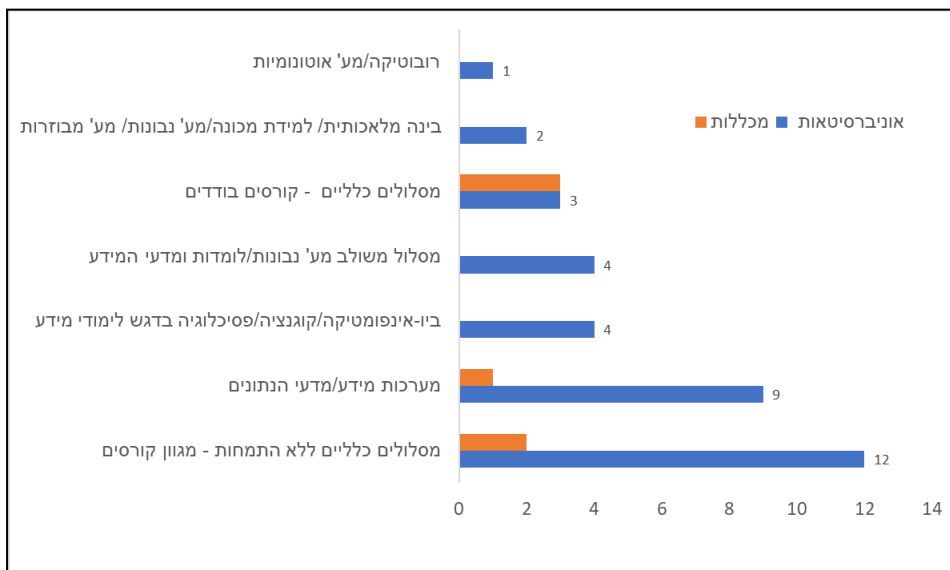
הגרפים הבאים מציגים התפלגות קורסים ומסלולי הכשרה באוניברסיטאות ובמכללות נכון לשנת הלימודים תשע"ח.

איור 8: התפלגות מסלולים לפי סיווג - תואר ראשון



מקור: מוסד שמואל נאמן

איור 9: התפלגות מסלולים לפי סיווג - תארים מתקדמים



מקור: מוסד שמואל נאמן

1.4 צורכי התעשייה להכשרת כ"א באקדמיה, כפי שעלה מהראיונות שבוצעו במסגרת עבודה שבוצעה ע"י מוסד נאמן לבחינת צרכי כ"א³³

בכדי לענות על צורכי כוח האדם בתחום AI יש צורך גם בבוגרי תואר ראשון וגם בבוגרים לתארים מתקדמים. בתחום מדעי הנתונים יש ביקוש הולך וגובר לבוגרי תואר ראשון עם ידע בתחום. הביקוש לבוגרים צפוי לגדול משמעותית. בין התפקידים להם צפוי ביקוש הם: הנדסת נתונים, תכנון, טיפול ובקרת נתונים (טיוב, תיוג וכו'), אנליזת נתונים וויזואליזציה שלהם. גם בתחום הבינה המלאכותית

³³ ג' דפנה, בוכניק ציפי, גלעד ורד, ברזני אלה, רווה איילת. תחזיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי דו"ח סופי – שנה ד' חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2021. <https://www.neaman.org.il/Technological-forecasting>

ולמידת מכונה יש ביקוש לבוגרי תואר ראשון בעלי הבנה בסיסית בבינה מלאכותית וידע בכלים שימושיים לתפקידי פיתוח.

בתעשייה קיים ביקוש גדל לבוגרי תארים מתקדמים בתחומי הבינה המלאכותית. מדובר בנושאים שהמחקר בהם זורש בסיס מדעי רחב. כמענה לביקוש, מספר הסטודנטים המבקשים כיום ללמוד תארים מתקדמים בתחומי ה-AI עולה. זוהה קושי באיתור וגיוס של מנחים שביכולתם לקבל סטודנטים למחקר, בעיקר בתחומי הבינה המלאכותית.

חברות בינלאומיות גדולות מעוניינות להעסיק חוקרים מובילים. בארה"ב ובמקומות אחרים בעולם ידוע על תחרות בין האקדמיה לתעשייה, כאשר התעשייה מציעה תנאים מפליגים לחוקרים בכירים והאקדמיה מתקשה להתמודד ולהשאיר בתחומיה סגל איכותי שעוסק במחקר מוביל בתחום. לא מן הנמנע שמצב כזה יתרחש גם בישראל.

יש צורך במדיניות להגדלת מספר הסטודנטים למחקר בתחום ה-AI ביחוד את תחום מדעי הנתונים והבינה המלאכותית על מנת לתת מענה לצרכי התעשייה ולייצר את הדורות הבאים של חוקרים באקדמיה.

1.5 צרכי התעשייה להכשרות LLL לתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה

במסגרת העבודה הנוכחית נשלח שאלון לבחינת צרכי הכשרות LLL בחברות לתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה³⁴ (סיכום ממצאי השאלון מופיע בנספח לחלק זה). הצרכים שעלו מובאים להלן:

- לצוותי פיתוח עם רקע במדעי המחשב או הנדסת מחשבים חסרה הכשרה בניהול מאגרי מידע, עבודה עם מודלים מתקדמים, ממשק אדם מחשב, כלומר כיצד להציג מידע בצורה אפקטיבית, סטטיסטיקה.
- לצוותי מנתחי דאטא עם רקע במדעי המוח, סטטיסטיקה, חשבונאות, אקטואריה, מנהל עסקים ועוד חסרות הכשרות יישומיות בעולמות הדאטא. צריכים ידע טוב יותר במדעי המחשב ומתודולוגיות מחקר.
- נדרשת הכשרה נוספת עמוקה בנושאי הסקה בייסיאנית והחלטות בתנאי אי וודאות.
- נדרשת הכשרה בטכניקות חדשות של אימון ולייבלינג, החלטה רציונלית אוטונומית (כתלות בתחום החברה) וטכניקות שימוש באימונים כלליים (כמו GPT).

1.6 מצב קיים - הכשרות LLL לתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה

- ברוב החברות שמהן קיבלנו מענה לשאלון, לא ניתנת הכשרה פורמלית. הלימוד מתבצע תוך כדי עבודה (OJT) בחברה, תוך סיוע של בעלי מקצוע מנוסים יותר והתאמת הלמידה לפרויקט ולדרישות התפקיד.
- צוינו הכשרות באמצעות קורסי אונליין coursera, edx.
- נעזרים בחברות כמו NVIDIA המציעות מפגשי למידה והתנסות ייעודיים.

³⁴ רשימת העונים לשאלון LLL לתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה: 1. Erez Naaman – CEO Scopio Labs, 2. Eyal CEO & Co-Founder – SiteAware- Ori Apehek, 3. CEO zebra medical vision – Toledano, 4. CEO Atidot-Dror Katzav, 5. CTO

- בשתי חברות ציינו שאין הכשרות שמתאימות להם: "לא מצאנו חברה חיצונית שתענה על דרישותינו". "אנחנו קטנים מכדי כדי ליצור תוכנית הכשרה ייעודית למהנדסים ואין תוכנית חיצונית טובה ומתאימה".

במפוי שערכנו בחלק א' של עבודה זו נמצאו 5 הכשרות LLL לתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה, העונות על הקריטריונים שנקבעו למחקר זה:

1. באוניברסיטת בן גוריון - (BI&A) בינה ואנליטיקה עסקית

הקורס מעניק ידע נרחב בתחום ויכולת הבנה וניתוח נתונים עסקיים מגוונים. המשתתפים מתנסים באמצעות דוגמאות וניתוח מקרי בוחן, בשיטות לניתוח נתונים, אמצעי תצוגה ויזואלית ושילובם בכלי הבינה העסקית, כולל בטכניקות ופלטפורמות נפוצות כגון Excel (בדגש על היכולות האנליטיות והסטטיסטיות הזמינות בכלי), ו-Power BI של חברת Microsoft.

מטרות הקורס

- הענקת ידע רחב בתחום הבינה והאנליטיקה העסקית, על הנושאים והמונחים השונים הכרוכים בו.
- התנסות יישומית עם פלטפורמות נפוצות, מועילות ונוחות ללימוד ולשימוש: Excel (בדגש על היכולות האנליטיות והסטטיסטיות הזמינות בכלי) ו-Power BI של חברת Microsoft.
- התנסות יישומית עם אמצעי תצוגה ויזואלית ושיטות לניתוח נתונים, ושילובם בכלי הבינה העסקית. ניתוח מקרי בוחן (Case Studies) לצורך תרגול והבנת הנושאים הנלמדים בקורס.

בין נושאי הלימוד

- נתונים כבסיס לניהול מכוון עובדות, מדידת ביצועים ארגונים, וקבלת החלטות.
- ניתוח, הבנה וארגון מיטבי של מקורות נתונים טבלאיים.
- מושגי ייסוד בבינה ואנליטיקה עסקית - מדדי ביצוע מרכזיים (KPI's), משתני מימד ועובדה ("Facts", "Dimensions"), הירארכיה, הקבצה והעמסה (Hierarchy, Aggregation, Attribution) פילוח וקידוח ("Drill Down", "Slice and Dice") ועוד.
- הצגת נתונים מוכוונת קבלת החלטות – ויזואלית, טקסטואלית, ואנליטית.
- מערכות תומכות החלטה והנגשת נתונים ומידע באמצעות יישומי בינה עסקית.
- ריענון מונחים וטכניקות יסוד בסטטיסטיקה תיאורית והיסקית (Descriptive and Inferential Statistics).
- איכות נתונים ומידע – אתגרים, כשלים, הטיות בעיבוד נתונים, הצגתם ופרשנותם.
- היכרות עומק עם יכולות העיבוד, הניתוח והצגת הנתונים הוויזואלית של הגיליון האלקטרוני (Excel) – ובפרט, מרכיבי ה-Power-Pivot וספריית היישומים הסטטיסטיים.
- עיצוב ומימוש יישומי בינה עסקית בעזרת פלטפורמת BI Power, BI של Microsoft

קהל היעד

מהנדסים, כלכלנים, ובוגרי תואר במדעים מדויקים ממוסד אקדמי מוכר מנהלים ובעלי רקע מתאים, המעוניינים לרכוש ידע נרחב וכלים יישומיים מועילים בתחום הבינה והאנליטיקה העסקית.

המרצים בקורס

חברי סגל באוניברסיטת בן-גוריון בנגב, המתמחים בהיבטים העיוניים והיישומיים בתחום הבינה והאנליטיקה העסקית, ומרצים אורחים מהתעשייה.

היקף הקורס: 40 שעות

למסיימי הקורס תוענק תעודה מטעם המרכז האוניברסיטאי ללימודי חוץ.

2. באוניברסיטת בן גוריון- בינה מלאכותית (AI) - טכניקות וכלים יישומיים לפתרון בעיות

הקורס נבנה בשיתוף חברת אינטל וכולל מקרי בוחן, אתגרים ותרגולים שנבנו ע"י החברה, במהלך הקורס יתקיימו הרצאות אורח של מרצים ומומחים מהתעשייה בתחום. בקורס נעשה שימוש בכלי פייתון נפוצים על מנת לבנות ולסדר בסיסי נתונים וכן להגדיר ולפתור מגוון סוגי בעיות הרלוונטיות לתחומי עיסוק רבים.

מטרות הקורס

- * היכרות עם הנושאים הבסיסיים בתחום הבינה המלאכותית.
- * הקניית הידע הדרוש להגדרת הבעיה וסוגי הפתרונות המתאימים לה.
- * מתן כלים לפתרון בעיות באמצעות שימוש בכלי פייתון.
- * עבודה יישומית לבניית בסיס הנתונים וארגון הידע הקיים בצורה מיטבית המתאימה לעיבוד.
- * הסקת מסקנות באמצעות למידת מכונה ושימוש יעיל בכלי חומרה ותוכנה קיימים.

יתרונות הקורס

- * הקורס משלב בסיס תיאורטי ממוקד ומתן טכניקות וכלים יישומיים המשמשים לפתרון בעיות אמת.
- * קורס בשיתוף חברת "אינטל" כולל מקרי בוחן, אתגרים ותרגולים שנבנו על ידי החברה.
- * שילוב הרצאות אורח של מרצים מומחים מהתעשייה.
- * לימודים פעם בשבוע בשעות הערב – מתאים לשילוב עם עבודה.

תכני הלימוד

- * מבוא לבינה מלאכותית
- * לימוד ושימוש בכלים בסיסיים בשפת פייתון ובכלי Jupiter notebook
- * פתרון בעיות על ידי חיפוש וכן באמצעות יוריסטיקות.
- * טכניקות וכלים לפתרון בעיות ואתגרים הדורשים סיפוק אילוצים.
- * שיטות לאיסוף נתונים ועיבוד מקדים.
- * למידת מכונה מפוקחת (unsupervised machine learning).
- * פתרון בעיות ואתגרים באמצעות למידה עמוקה (deep learning).
- * חומרה ותכנה עבור בינה מלאכותית (AI).

קהל היעד

מהנדסים, בוגרי מדעים מדויקים, כלכלנים, סטטיסטיקאים ובעלי רקע מתאים המעוניינים לקבל כלים ומיומנויות לעבודה בתחום. למסיימי הקורס תוענק תעודה מטעם המרכז האוניברסיטאי ללימודי חוץ.

3. באוניברסיטת בן גוריון- ניהול ואפיון מערכות מידע

מנהלים ואנשי מקצוע, שאינם בהכרח מתחום מערכות המידע והפיתוח, מובילים ו/או שותפים בצוותי פיתוח של מערכות מידע בארגון.

במסגרת הקורס ניתנים כלים לזיהוי בעיות בתהליכים העסקיים ובחינה של חלופות לפתרון טכנולוגי לבעיות אלו. כמו כן, איסוף וגיבוש דרישות המערכת והכרת מתודולוגיות פיתוח עיקריות כגון מפל המים ו-Agile, אשר יאפשרו לקדם ולתכנן פרויקט פיתוח מערכת מידע, תוך שימוש במתודולוגיות פיתוח תואמות לבעיה.

מטרות הקורס

- הקניית ידע שיטות וכלים יישומיים לניתוח תהליכים עסקיים, לצורך ייעול באמצעות מערכת מחושבת.

- הקניית ידע והבנה של השלבים, הנושאים והמונחים השונים בתהליך פיתוח של מערכות מידע.
- היכרות והתנסות עם מתודולוגיות הפיתוח מפל המים ו-Agile ומתודולוגיית פיתוח מונחה אובייקטים תוך שימוש ב-UML וכלי CASE.
- ניתוח מקרי בוחן (Case Studies) לצורך תרגול והבנת הנושאים הנלמדים בקורס.

יתרונות הקורס

- רכישת שפה וכלים מתחום העיצוב והניתוח של מערכות מידע המיועדים למנהלים ואנשי מקצוע שבתחום אחריותם פרויקטי תוכנה, או מעוניינים לקדם פרויקטים בתחום הקורס משלב בסיס תיאורטי ממוקד בתהליכי פיתוח וניתוח תכנה לצד תרגול מתודולוגיות מרכזיות וכלים יישומיים המשמשים לפתרון בעיות אמת.
- לימודים פעם בשבוע בשעות הערב – מותאם לבעלי קריירה.

תכני הלימוד

- הכרת השלבים השונים בפרויקט פיתוח; הכרת מתודולוגיות פיתוח שונות, וכיצד מחליטים על השיטה המתאימה לפרויקט מסוים.
- שימוש במתודולוגיית Agile בה נעשה שימוש ברוב פרויקטי התוכנה בעולם.
- חקר מצב קיים- תיעוד תהליכים עסקיים בשיטת BPMN ושיטות נוספות לזיהוי בעיות עסקיות, ניתוחי כדאיות ובחינת חלופות מתאימות לפתרון.
- איסוף דרישות בעולם ה-Agile, שיטות שונות לאיסוף דרישות ותיעוד להעברה לצוותי הפיתוח.
- שפת המידול UML ושימוש ב- Use Case לתיעוד הדרישות שנאספו.
- היכרות עם בסיסי נתונים והבנת צרכי המידע הנדרשים לפתרון הבעיות העסקיות. שימוש במידע ארגוני / ציבורי קיים לעומת הצורך ליצור מידע חדש.
- ארכיטקטורת תוכנה - משמעות בחירה בארכיטקטורת תוכנה מסוימת על תהליך הפיתוח.
- בדיקות תוכנה ובקרה- מה קורה בשלב הבדיקות? איך מתכננים בדיקות ואיך מבצעים אותן?
- הטמעת תוכנה – שיטות שונות להטמעת תוכנה והשיקולים לבחירה ביניהן.

קהל היעד

מנהלים, מהנדסים, כלכלנים ואנשי מקצוע אקדמאים המובילים/שותפים/מעוניינים לקדם פרויקטים של מערכות מידע ותכנה ומעוניינים לרכוש ידע נרחב, שפה מקצועית וכלים יישומיים לקידום והטמעה מוצלחת של המערכת.

היקף הקורס: 44 שעות.

למסיימי הקורס תינתן תעודה מטעם המרכז האוניברסיטאי ללימודי חוץ.

4. AI-IP DSP למידה עמוקה מעשית

התוכנית שמה דגש על מתן כלים מעשיים ללמידה עמוקה בתחום הראייה הממוחשבת כפי שהיא ממומשת בחברות ההייטק;

- הבנה של כלי עבודה בתחום
 - הבנה של עקרונות פעולה של רשתות נוירונים מסוגים שונים לסיווג גילוי וסגמנטציה
 - חילוץ מידע מסרט וידאו הכולל סוגי אובייקטים ומיקומם
- במסגרת התוכנית נלמד את הבסיס לרשתות נוירונים, את הסוגים השונים של רשתות נוירונים, כלי פיתוח, תוכנות ושיטות עבודה מתחום הלמידה העמוקה הנמצאים בשימוש בתעשייה. המסלול מיועד למהנדסים מתחילים הרוצים להשתלב בתעשייה בחברות העוסקות בוידאו כמו: רכבים אוטונומיים, רובוטיקה, מכשור ביו-רפואי, מציאות רבודה (reality augmented) (ועוד). הקורס ניתן בזום ויש אפשרות להגיע לתרגולים.

דרישות:

- ידע טוב בתכנות ובפייתון
- תואר בתחום הנדסי או מדעי
- למסיימי הקורס מוענקת:
- תעודה על קורס DLI מטעם NVIDIA
- תעודה של AI.DeepLearning
- תעודה של חברת IP-DSP על סיום ההכשרה
- אפשרות להמשיך התמחות בתחומים שונים ולימודים בקורס מתקדם.

5. Advance Deep Learning with NVIDIA tools - DSP-IP AI

מטרת התוכנית

גישור הפער בין הידע האלגוריתמי הנלמד בקורסים אקדמיים ובאינטרנט (Stanford, MIT, ai.deeplearning) למיומנויות הנדרשות ע"י חברות הייטק. בוגרי הקורס מבצעים תרגילי תכנות ומבחנים של חברת NVIDIA ומקבלים תעודות על קורסים של חברת NVIDIA. במסגרת התוכנית נלמדים כלי פיתוח, תוכנות ושיטות עבודה מתחום הלמידה העמוקה הנמצאים בשימוש בתעשייה. כלי הפיתוח שנבחרו הם של NVIDIA, החברה המובילה בעולם בפיתוח GPU וכלי תוכנה ללמידה עמוקה ושל AWS. שתי חברות התורמות לתוכנית שעות ענן, בכלי פיתוח, קורסים וכרטיסי חומרה. כמו כן התוכנית בחסות הרשות לחדשנות על מנת לסייע לבוגרים למצוא עבודה איכותית יותר. התוכנית שמה דגש על ידע יישומי בלמידה עמוקה:

- כלים פיתוח ופלטפורמות חדשות של NVIDIA ו AWS
- הרצת מודלים בקונטיינרים וכתיבת קונטיינרים
- הרצת מודלים ברכבי IoT ובענן
- אופטימיזציית מודלים לריצה מהירה.

דרישות

- הבנה טובה של רשתות נוירונים תכנותם ואימונם.
- ידע בסיסי ב Pandalas Numpy.

מסיימי הקורס יקבלו:

- תעודה על קורסי DLI מטעם NVIDIA.
- תעודה של חברת IP-DSP על סיום ההכשרה.
- אפשרות להמשיך התמחות בתחומים שונים.

1.7 בהסתכלות קדימה, ההכשרות החדשות שיידרשו לעובדים בתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה

סיכום המענה לשאלונים בנושא:

- צריך הרבה יותר אנשים שיוכשרו לבינה מלאכותית, וההכשרות האלה צריכות להשתנות ולהתאים את עצמן לשינויים המהירים בתחום. צריך רקע עמוק מתמטי ובמדעי המחשב שלוקח שנים לבנות, ומצד שני צריך להיות מעודכנים בכלים של AI שמשתנים כל הזמן.
- הכלים הופכים להיות יותר ויותר נגישים עם פחות הכשרה טכנית ולכן יהיה מקצוע של מהנדס AI שיוצר דברים ומקצוע של טכנאי AI היוזע לתפעל כלים אך לא לבנות אותם. לחברות סטארטאפ, אין את המשאבים להכשיר את האנשים.

- בתחומים ספציפיים המפגש עם דאטה ייחודי שלא ניתן ללמוד ממקורות גלויים ומכאן החשיבות של on the job training. המהנדסים צריכים לעבוד בסביבות מבוקרות ולכן צריכים ידע בשימוש במערכות ענן לניהול מעקב אחר ניסויים וידע בשימוש במערכות ענן מבוקרות. בהרבה חברות פתרון בעיית הליבה מצריך העמקה בתחום הידע ובדאטה הספציפי - זמנית יש הרבה אתגרים שנופלים תחת ההגדרה של כלים בדרך לפתרון - ולכן חברות צריכות להכשיר את החוקרים והמהנדסים להשתמש בכלים ל"rapid prototyping" כמו SageMaker \ auto.ml \ vertex.ai שמאפשרים לפתור במהירות ולפתח כלים.
- צריך לשלב הכשרות דאטה במקצועות רבים ממדעי המחשב ועד שיווק.
- נדרשת הבנה בלוגיקה, סטטיסטיקה בסיסית, וחשיבה ביקורתית.
- הכרת מודלים חישוביים גם עבור אנשי מכירות או שיווק או משאבי אנוש שצריכים הבנה בסיסית בסגמנטציה, חיזוי, אספקטים של אתיקה בשימוש בדאטה וכו'.
- הכשרה בטכניקות Deep Learning למיניהן (שאליהן העובדים מגיעים ללא הכשרה מתאימה מהאקדמיה), בעתיד יידרשו הכשרות בטכניקות מתקדמות (self labeling, adversary training etc).
- קשה מאוד למצוא אנשים שמתמחים בתחומי האלקטרוניקה, ייצור ותכנות Embedded. אלו הם תחומי העתיד, עולם ה-IoT כולו מבוסס על מעבר לתכנות של ציפים, ובזה האקדמיה נמצאת מאוד מאחור. המעבר הזה פותח שער לעולם של מוצרים פיזיים, ובחלק הזה מדינת ישראל נמצאת מאוד מאחור. חברה שעוסקת ברובוטיקה זקוקה למומחים מתחומים מאוד מגוונים שהם לא רק אלגוריתמיקה, אלא: פלסטיקה, עיצוב תעשייתי וייצור במפעלים. אלו אלמנטים שלא קיימים בארץ³⁵.

1.8 סיכום והמלצות למדיניות בהכשרות LLL לתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה

בינה מלאכותית (AI) הינה היכולת לתכנת מחשבים באופן המציג יכולות של בינה אנושית. המחקר והפיתוחים השונים בתחום תרמו לכך שהשימוש בה הופך ליותר ויותר נפוץ לצורך פתרון בעיות מעשיות במגוון רחב של תחומים ופעילויות; היי-טק, נדל"ן ובניה, בנקאות ופיננסים, בריאות, קמעונאות ועוד.

המחקר עולה שחסר כוח אדם בתחום בינה מלאכותית. יש פוטנציאל גדול בהסבה לתחום ה-AI של בוגרי תארים מתקדמים שאינם מתחום המחשבים. בפרט, ישנו פוטנציאל גדול בהסבה של בוגרי מדעי החיים, מאחר שיש רבים כאלה שאינם מוצאים עבודה בתחום הלימוד שלהם.

הדגש המשמעותי ביותר הוא להכניס כמה שיותר אנשי מקצוע לתחום ולהכשיר אותם בפרויקטים מעשיים. החברות הגדולות והסטארט-אפים מעוניינים להעסיק אנשים בעלי ניסיון. יש צורך לבנות תכנית התמחות שתאפשר להגדיל את כמות ואיכות האנשים שעוסקים בתחום בצורה משמעותית.

מבחינה ראשונית שנעשתה בחלק זה לגבי הצרכים של התעשייה להכשרות LLL לתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה, עלו צרכי ההכשרה הבאים:

ההכשרות יתמקדו בשתי אוכלוסיות יעד אוכלוסיית כלל המהנדסים ואוכלוסיית מומחים לבינה מלאכותית.

³⁵ ג' דפנה, כך שחם אושרת, קליין רינת, ד"ר צגנה רועי, רוזנברג שלמה, שהם אבידע, ברזני אלה, ד"ר לק ערו, ציפרפל סימה. בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה סקר חברות. חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2018.

- לצוותי פיתוח עם רקע במדעי המחשב או הנדסת מחשבים נדרשת הכשרה בניהול מאגרי מידע, עבודה עם מודלים מתקדמים וממשק אדם מחשב.
 - הכשרה ב: סטטיסטיקה, חשבונאות, אקטואריה, מנהל עסקים- חסרה הכשרה יישומיות בעולמות הדאטה- ידע טוב יותר במדעי המחשב ומתודולוגיות מחקר. בעיקר לצוותי מנתחי דאטה עם רקע במדעי המוח.
 - הכשרה עמוקה בנושאי הסקה בייסיאנית והחלטות באי וודאות.
 - הכשרה בטכניקות Deep Learning למיניהן. בעתיד ידרשו הכשרות בטכניקות מתקדמות (Self labeling, adversary training etc) וטכניקות שימוש באימונים כלליים (כמו GPT).
 - הכשרת מהנדסים לשימוש בכלים ל"rapid prototyping" כמו \ auto.ml \ vertex.ai SageMaker שמאפשרים לפתור במהירות ולפתח כלים.
 - הכשרה בלוגיקה, סטטיסטיקה בסיסית, וחשיבה ביקורתית.
 - הכרה של מודלים חישוביים, הבנה בסיסית בסגמנטציה, חיזוי, אספקטים של אתיקה בשימוש בדאטא וכו'.
- יש צורך בפעילות מקיפה על מנת לאתר נושאים נוספים בתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה, שנדרשות בהן הכשרות.

1.9.1 נספח א- ניתוח תשובות לשאלון בתחום בינה מלאכותית AI ומדעי הנתונים

העונים:

1. CEO Scopio Labs – Erez Naaman
2. CEO zebra medical vision – Eyal Toledano
3. CEO Atidot -Dror Katzav
4. CTO Forter -Iftah Gideoni
5. SiteAware- Ori Aphek CEO & Co-Founder –

ככלל נאמר ע"י העונים שצריך הרבה יותר כוח אדם בתחום. אין מספיק מועמדים צריך הרבה יותר אנשים שיוכשרו לבינה מלאכותית, וההכשרות האלה צריכות להשתנות ולהתאים את עצמן לשינויים המהירים בתחום. בתחום זה נדרש רקע עמוק מתמטי ובמדעי המחשב ולהיות מעודכנים בכלים של AI שמשתנים כל הזמן.

רוב החברות עושות הכשרה פנימית וקורסי אונליין היות שלטענתן אין הכשרות חיצוניות שנותנות הכשרה שעונה לצורכיהן. לחברות סטרטאפ אין משאבים להכשרות פנימיות.

1. מהי הדיסציפלינה האקדמית שבה קיבלו הכשרה המהנדסים שעובדים כיום בחברה שלך, ואיזה הכשרה נוספת נדרשת לצורך פעילות החברה בתחומי בינה מלאכותית AI ומדעי הנתונים?

- מדעי המחשב
 - הנדסת מחשבים
 - פיזיקה
 - ביולוגיה
 - DEEP LEARNING
 - הכשרות ייעודיות לבינה מלאכותית.
 - הסבה לאקדמאים
- יש חברות שציינו שהן דורשות מספר שנות ניסיון בבינה מלאכותית (בעיקר CNN לראייה ממוחשבת).

2. האם ניתנת לעובדי החברה שלך הכשרה בתחומי בינה מלאכותית AI ומדעי הנתונים (בתוך החברה או הכשרה חיצונית)? במידה וכן איזה הכשרה?

- חלק מההכשרה היא OJT בחברה. התאמת הלמידה כחלק מהפרויקט ודרישות התפקיד.
- לא ניתנת הכשרה פורמלית. לימוד תוך כדי עבודה בחברה תוך סיוע של בעלי מקצוע מנוסים יותר.

- בעיקר באמצעות קורסי אונליין coursera, edx וחניכות פנימיות.

- בשתי חברות ציינו שאין הכשרות שמתאימות להם:

- "יש צורך בהכשרה ספציפית לעיסוק שלנו, אנחנו קטנים מכדי כדי ליצור תוכנית הכשרה ייעודית למהנדסים ואין תוכנית חיצונית טובה ומתאימה. נעזרים בחברות כמו

NVIDIA המציעות ששנים ייעודיים"

- " לא מספיק - מספר שיעורים על הסקה והחלטות באי וודאות. לא מצאנו חברה חיצונית שתענה על דרישותינו".

3. **קיימים צורכי הכשרת כוח אדם בתחומי בינה מלאכותית AI ומדעי הנתונים שאין להם כיום מענה?**

- לצוותי פיתוח עם רקע במדעי המחשב או הנדסת מחשבים חסרה הכשרה בניהול מאגרי מידע, עבודה עם מודלים מתקדמים, ממשק אדם מחשב כלומר כיצד להציג מידע בצורה אפקטיבית, סטטיסטיקה.

- לצוותי דאטא עם רקע במדעי המוח, סטטיסטיקה, חשבונאות, אקטואריה, מנהל עסקים ועוד חסרות הכשרות יישומיות בעולמות הדאטא. צריכים ידע טוב יותר במדעי המחשב ומתודולוגיות מחקר.

- נדרשת הכשרה נוספת עמוקה בנושאי הסקה בייסיאנית והחלטות באי וודאות.

- נדרשת הכשרה בטכניקות חדשות של אימון ולייבלינג, החלטה רציונלית אוטונומית (כתלות בתחום החברה) וטכניקות שימוש באימונים כלליים (כמו GPT).

4. **האם צפוי שינוי בהכשרות שיידרשו לכוח האדם בתחום זה בעתיד הקרוב מבחינת כמות ו/או סוג הכשרה והאם נדרשת היערכות/ התאמת ההכשרות לקראת שינויים אלו?**

- הכלים הופכים להיות יותר ויותר נגישים עם פחות הכשרה טכנית ולכן יהיה מקצוע של מהנדס AI שיוצר דברים ומקצוע של טכנאי AI היוזע לתפעל כלים ו"לקנפג" כלים אך לא לבנותם.

- בתחומים ספציפיים המפגש עם דאטה ייחודי שלא ניתן ללמוד אותו ממקורות גלויים ומכאן החשיבות של on the job training. חוקרים ומהנדסים אלו צריכים לעבוד בסביבות מבוקרות ולכן צריכים ידע בשימוש במערכות ענן לניהול מעקב אחר ניסויים וידע בשימוש במערכות ענן מבוזרות. בהרבה חברות פתרון בעיית הליבה מצריך העמקה בתחום הידע ובדאטה הספציפי - זמנית יש הרבה אתגרים שנופלים תחת ההגדרה של כלים בדרך לפיתרון - ולכן חברות צריכות להכשיר את החוקרים והמהנדסים להשתמש בכלים ל "rapid prototyping" כמו \ auto.ml \ vertex.ai SageMaker שמאפשרים לפתור במהירות ולפתח כלים.

- צריך הרבה יותר כח אדם בתחום הזה. אין מספיק מועמדים. כחברת סטארטאפ, אין לנו כרגע את המשאבים להכשיר אנשים לצרכינו.

- צריך לשלב הכשרות דאטא במקצועות רבים ממדעי המחשב ועד שיווק.

- בכל האספקטים בחברה נדרשת הבנה בלוגיקה, סטטיסטיקה בסיסית, וחשיבה ביקורתית. בנוסף הם נדרשים להכיר מודלים חישוביים בצורה שטחית או בצורה

- עמוקה. גם אנשי מכירות או שיווק או משאבי אנוש צריכים להבין הבנה בסיסית בסגמנטציה, חיזוי, אספקטים של אתיקה בשימוש בדאטא וכו'.
- היום נדרשת הכשרה בטכניקות Deep Learning למיניהן (שאליהן העובדים מגיעים ללא הכשרה מתאימה מהאקדמיה), בעתיד יידרשו הכשרות בטכניקות מתקדמות (self labeling, adversary training etc).
 - צריך הרבה יותר אנשים שיוכשרו לבינה מלאכותית, וההכשרות האלה צריכות להשתנות ולהתאים את עצמן לשינויים המהירים בתחום. זה מורכב - צריך רקע עמוק מתמטי ובמדעי המחשב שלוקח שנים לבנות, ומצד שני להיות מעודכנים בכלים של AI שמתנים כל הזמן.

2. תעשייה 4.0 והנדסה דיגיטלית

2.1 רקע

המהפכה התעשייתית הרביעית (המכונה גם Industry 4.0 ו/או יצור מתקדם) מתרחשת בשני העשורים האחרונים ומטפחת דור חדש של מכונות אוטומטיות, שבעזרת חיבוריות אלחוטית וטכנולוגיה דיגיטלית מסוגלות לבצע ויזואליזציה של פס הייצור ולקבל החלטות אינטליגנטיות באופן עצמאי. למעשה, תהליך ייצור זה, המשלב טכנולוגיה, משנה את כל תהליכי העבודה במפעל, בשדה או בכל מקום אחר.

ראשית, מכונות מסוגלות לקבל החלטות עצמאיות תוך שימוש בביג דאטה, עיצוב הליך הייצור וביצוע סימולציות, כאשר הכל מתבצע במחשוב ענן. שנית, שילוב רובוטים וסנסורים חכמים משפר ומדייק את הליך הייצור. שלישית, ניהול המחסן הלוגיסטי עושה שימוש במכונות אוטומטיות המאפשרות מהירות ויעילות גבוהות יותר. הצורך הוא ברור ומונע על ידי שיפור חוויית הצרכן, מהירות תגובה לשוק והקטנת עלויות ייצור³⁶.

המהפכה התעשייתית הרביעית נמצאת בשלבים מתקדמים של התפתחות בעולם. היא מבוססת על גישה רב תחומית של אינטגרציה של טכנולוגיות (איור 10) ועיקריה הם:

- מחשוב ואנליטיקה מתקדמת של כל תהליכי הייצור תוך שימוש בדיגיטציה מתקדמת, סנסורים חכמים, אינטרנט של הדברים ואחסון בענן
- הנדסת ננו של חומרים, סיבים ומשטחים
- ייצור בהוספה, הדפסות תלת ממד, ויצור מדויק
- רובטיקה מתקדמת, אוטומציה מותאמת, בינה מלאכותית, מציאות רבודה
- הדור הבא של האלקטרוניקה
- תכן וניהול ממוחשב ומרושת של שרשראות אספקה מבוזרות
- יצור ירוק ובר קיימא, תוך כדי שימוש בשיטות חדשניות, כמו: בקרת בריאות מערכות, תחזוקה חזויה.

³⁶ <https://www.calcalist.co.il/markets/articles/0,7340,L-3892446,00.html>

איור 10: הטכנולוגיות שמניעות את המהפכה התעשייתית הרביעית



מקור: מוסד שמואל נאמן

המהפכה התעשייתית הרביעית כוללת בתוכה מספר מגמות חשובות, שאחת מהן היא המהפכה הדיגיטלית או כפי שהיא מכונה הטרנספורמציה הדיגיטלית³⁷.

יישום הנדסה דיגיטלית בארגונים הוא מהלך אסטרטגי וארגונים וחברות מובילות בעולם גיבשו תכנית אסטרטגית לקידום ויישום הנדסה דיגיטלית (כמו: משרד ההגנה האמריקאי, חברות רכב ותעופה מובילות). זוהו מטרות, אתגרים, הזדמנויות ומכשולים ביישום אפקטיבי של הנדסה דיגיטלית והוערכו התועלות המשמעותיות. התועלות המהותיות כוללות שיפור איכות מוצרים ומערכות המפותחות בחברות, חיסכון מהותי בעלויות וקיצור משמעותי בלוחות זמנים בפיתוח מערכות, ייצורן, תחזוקתן ואספקתן. מידע זה מאפשר ומסייע לארגונים, מנהלים ומהנדסים לגבש תכנית אסטרטגית ליישום הנדסה דיגיטלית בתחומי אחריותם. תכנית זו אמורה לענות בצורה מובהקת על האתגרים של הארגון בהיבטים שיווקיים, טכנולוגיים, הנדסיים ותהליכיים. יישום תכנית זו צפויה לשנות לטובה באופן מהותי את התהליכים בהם מיושמת הנדסה ונגזרותיה בארגונים ופרויקטים אלו.

מהפכה זו מתאפיינת גם בתפוצה ובזמינות של רשת האינטרנט באמצעים ניידים וזולים, בתלות ההדדית ובהשתלבות של גורמים ללא קשר למקום המצאם. היא מהווה הזדמנות פז לתעשייה הישראלית להוביל מרכיבים של המהפכה ולהפוך את התעשייה, במהלך לאומי משולב, לתעשייה מתקדמת ואיכותית, בעלת פרויקט גבוה, מובילה בתרומה לתל"ג, תחרותית בייצוא, ברת קיימא, אטרקטיבית למשאב אנושי מוביל ומצטיין במגוון רחב של מקצועות (כגון: מהנדסים, טכנאים, מפעילי ציוד מתוחכם, מדעני מידע, תכנתים, מעצבי מוצר ועוד). לצד ההזדמנות, קיים סיכון של אי השתלבות ישראלית, ברמה של מהלך לאומי. לפני כ- 3 שנים הקים משרד הכלכלה מכון ליצור מתקדם, אשר מסייע למפעלים וחברות לבצע טרנספורמציה בכוון של ייצור מתקדם.

המהפכה התעשייתית הרביעית כוללת תחומי ידע וניסיון מעשי חדשים וחדשניים שמחייבים חינוך והכשרה ברמה גבוהה ויישומית לכל המעורבים בפיתוח והנדסת מוצרים ומערכות מתקדמות, ייצור מתקדם ותחזוקה מתקדמת של מוצרים ומערכות בעידן החדש. מרכיב מהותי בתחומי ידע והתנסות אלו הם אוריינות והנדסה דיגיטלית.

³⁷ זוננשיין אביגדור, בנטור ארנון, דיין תמר, בוכניק ציפי, ריינר קובי. הנדסה דיגיטלית והטמעתה בחינוך מהנדסים חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2023. <https://www.neaman.org.il/Digital-Engineering-and-its-assimilation-in-engineering-education>

2.1.1 תעשייה 4.0 בישראל

במהלך השנים האחרונות הפכה ישראל לשחקנית חזקה בכל הנוגע למיזמים לטכנולוגיות Industry 4.0. מגזר Industry 4.0 מאופיין בפעילות סטארט-אפים תוססת, הגדלת זמינות הון, קהילה תומכת ותמריצים ממשלתיים. המגזר שואב ממומחיות בטכנולוגיות העיקריות בהן משתמשת Industry 4.0, כגון חיישנים, עיבוד תמונה ווידאו, ביג דאטה, אלגוריתמים ואנליטיקה בזמן אמת ומעסיק אותו בתחומי ייצור מתקדם, ניידות וניהול שרשרת אספקה, בין היתר³⁸.

לפי סקר של התאחדות התעשיינים שנערך בנובמבר 2018 מפעלים רבים ברחבי הארץ לא עומדים בסטנדרטים בין-לאומיים של תחרותיות, בשל מצבם הטכנולוגי. הם מורגלים לתהליכי ייצור מסורתיים שמובילים, בין היתר, לפריון נמוך ולחוסר יכולת להתמודד עם התחרות והשינויים ברמה הגלובלית.

בזמן שהתעשייה הישראלית מתעכבת באימוץ חדשנות ומעבר לתעשייה מתקדמת, חברות הסטארט-אפ הישראליות בתחום עובדות בעיקר מול גופים זרים. כך, ב-2018, מבין המשקיעים הפעילים בתחום היו 63 משקיעים זרים מול 27 משקיעים ישראלים.

מסקר שערכה התאחדות התעשיינים אודות מגמות המעבר בתעשייה הישראלית לתעשייה 4.0, עולה כי בשנת 2021 חל גידול נוסף של כ-20% בהיקף התעשיינים החלו ליישם את המעבר לתעשייה 4.0, גידול של 10% בהשוואה לשנת 2020. עוד עולה מהסקר, כי 85% מבין התעשיינים המשיבים שביצעו השקעות בתעשייה 4.0 דיווחו על שיפור בפרייון. 76% דיווחו על צמצום פחת, וכ-44% דיווחו על היסכון בעלויות האנרגיה. (ניוזלטר)

בנוסף, תאגידיים בין לאומיים שונים מתחילים פתחו בישראל מרכזי חדשנות, שמטרתם לגשר בין הסטארט-אפים הישראלים בתחום למפעלי ייצור ותעשייה. בין היתר נפתחו כאן פרויקט תעשייה מתקדמת של פולקסווגן; חברת הבריאות הגרמנית מרק פתחה מרכז חדשנות בתחום בשיתוף פעולה עם רשות החדשנות; ENEL, חברת האנרגיה הגרמנית, משתתפת גם היא במעבדת חדשנות של רשות החדשנות; חברת ברייט משינז האמריקאית הקימה בישראל מרכז פיתוח בו היא עובדת על בניית רובוטים חכמים עבור מפעלים. סימנס פתחה בישראל תוכנית חדשנות במסגרתה היא מקשרת בין סטארט-אפים ישראלים בתחום התעשייה 4.0 ובין לקוחותיה בתחום התעשייה והייצור³⁹.

המכון לייצור מתקדם, שהוקם בינואר 2020 ופועל מאזור התעשייה כרמיאל, מספק לחברות תעשייה ברחבי הארץ שירותי אבחון, ייעוץ והטמעה מסובסדים בתחום התעשייה החכמה (Industry 4.0). נכון לחודש מרץ 2022, המכון ערך כ-250 אבחונים למפעלי תעשייה מתחומי המתכת, פלסטיקה וגומי, הרכבות אלקטרוניות, ריהוט ועוד. מתוך כלל המפעלים שסיימו את תהליך האבחון והייעוץ, כ-200 נמצאים כבר בשלבי הטמעה של טכנולוגיות. על פי הנתונים שנאספו על ידי המכון עד כה בעשרות חברות הנמצאות בשלבי הטמעה, חל שיפור של 26% במדד בשלות תעשייה 4.0 ושיפור ממוצע של כ-25% בפרייון.

ועדת הכספים אישרה תקציב של 20 מיליון שקלים נוספים למכון לייצור מתקדם, המסייע למפעלי תעשייה באימוץ חדשנות. התקציב ישמש להטמעת טכנולוגיות חדשניות ושיטות ייצור מתקדמות במפעלים לצורך הגדלת הפרייון. בנוסף, ישמש הכסף ליצירת תעסוקה איכותית ולחיזוק יכולת התחרות של התעשייה הישראלית בעולם. סכום זה מתווסף לעשרות מיליוני שקלים שכבר הושקעו

Industry 4.0 2021 (September 2021) https://startupnationcentral.org/wp-content/uploads/2021/09/2-pager-Industry4.0_screen.pdf³⁸
³⁹ גלובס <https://www.globes.co.il/news/article.aspx?did=1001294244>

בהקמת המכון לייצור מתקדם ובהקמת מרכז ההתנסות וההדגמה של המכון. מטרת המכון היא לסייע, באמצעות התקציב המוגדל, לעודד כ-200 מפעלים בשנתיים הקרובות⁴⁰.

גם ברשות החדשנות קיימת פעילות בתחום זה. במסגרת הזירה של ייצור מתקדם⁴¹ הוקמו שלושה פרויקטים חדשים⁴²:

- **שבירת פרדיגמה וכניסה למו"פ בתעשיית הייצור:** תעשיית הייצור נכנסת לעולם המו"פ. כ-180 חברות הגישו לראשונה בקשות למסלולי רשות החדשנות במסלולי מכינה למו"פ ומופ"ת.
- **הקמת מפעלים בטכנולוגיה מתקדמת בישראל:** בשנת 2021 נפתחו שני קולות קוראים נוספים במסלול "מעבר מפיתוח לייצור", המאפשר לחברות לפתח תהליכי ייצור בשלבי הקמת המפעל וביסוס הפעילות הייצורית בישראל בתחומים כגון: מכשור רפואי, תרופות, אנרגיה, חלבונים אלטרנטיביים ועוד.
- **שיתופי פעולה עם גורמי ממשל וגופים מקדמים חדשנות:** שיתוף פעולה עם מפא"ת (המנהל למחקר, פיתוח אמצעי לחימה ותשתית טכנולוגית) במשרד הבטחון לקידום תוכניות מו"פ דואלי בתעשיית הייצור. בנוסף, גובשו והמשיכו שיתופי הפעולה עם משרד הכלכלה, משרד הבינוי והשיכון, משרד החקלאות, משרד האנרגיה ומשרד הבריאות, לקידום תוכניות מו"פ בחברות יצרניות בענפים השונים.

יש להניח כי פעילויות אלה יגדילו את הדרישה של כוח אדם מיומן בתחומים אלה.

את המחסור הצפוי בכ"א בתחום זה ניתן לראות גם בסקר⁴³ שערכה חברת תפן (TEFEN). לשאלה 'מה התחום שהכי חסר לך ידע בו?' מתוך 500 משיבים 39% ענו אסטרטגיה וחדשנות. 15% ענו טכנולוגיה ו-12% תפעול ושרשרת אספקה.

לשאלה מה לדעתך יהיה עתיד התעשייה ב-2030? 56% מהמשיבים ענו שיהיה **מחסור משמעותי בכח אדם מיומן וטכנולוגי לייצור מתקדם**.

רק 15% מהמשיבים ענו שהם מנתחים ומיישמים DATA בארגון. 55% ענו שמנתחים ולא מיישמים. לשאלה 'האם הארגון שלך מיישם אלמנטים חדשניים 4.0?' 52% ענו שכן. מתוכם 65% יישמו רובוטים, 64% תוכנות לניהול רצפת ייצור, 53% בקרים תהליכיים, 48% חיישנים, 40% יישמו בינה מלאכותית, 40% IoT, ו-14% RPA.

באיור הבא ניתן לראות שרק 21% מהמשיבים קיים במפעלים יישום מלא של תעשייה 4.0.

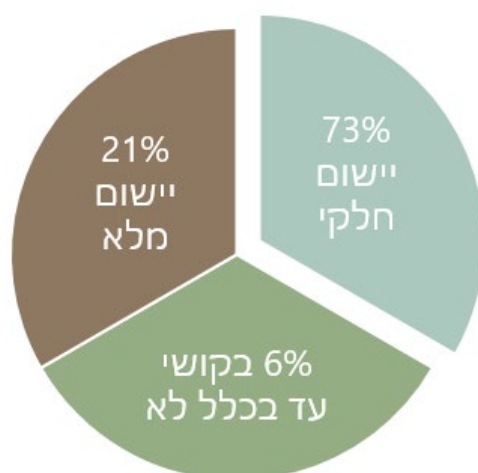
⁴⁰ <https://techttime.co.il/tag/%D7%AA%D7%A2%D7%A9%D7%99%D7%99%D7%94-4-0/>

⁴¹ זירת ייצור מתקדם מעודדת חברות ייצור ומפעלים לפתח מוצרים ולהטמיע טכנולוגיות חדשניות. הזירה פועלת לחיזוק התעשייה היצרנית וכושר התחרות שלה באמצעות יישום תהליכי מו"פ וחדשנות.

⁴² דו"ח שנתי-מצב ההיי-טק בישראל, 2022, **נספח: פעילות זירות רשות החדשנות**

⁴³ הסקר הופץ לכ-1500 בעלי תפקידים בתעשייה. כמות המשיבים בסקר – 500 מנהלים. 48% מהתעשיות שהשתתפו בסקר הינן תעשיות מעל 1000 עובדים. 8% מהחברות ביטחוניות, 19% קיבוציות, 10% מתכת, 9% הייטק, 12% מזון, 22% אחר. 65% מהמשיבים בני 45 ומעלה, 15% מתחת לגיל 35.

איור 11: שיעור המודעות והיישום של חדשנות וטכנולוגיה בארגונים



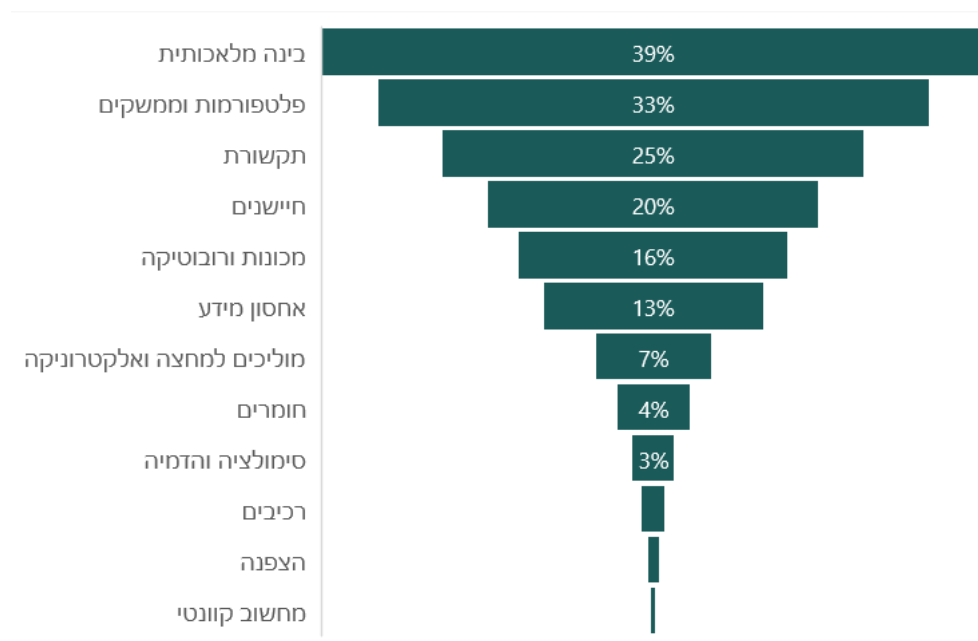
מקור: עיבוד מוסד נאמן לנתוני סקר התעשיות הגדול 2030 של חברת תפן, 2022⁴⁴

2.2 חברות בתחום תעשייה 4.0 והנדסה דיגיטלית

לפי סטארט-אפ ניישן סנטרל⁴⁵, פועלות כיום בישראל 274 חברות סטארט-אפ בתחום, לעומת 146 ב-2014.

טכנולוגיות הליבה שבהן הן עוסקות: תקשורת (69), אחסון מידע (36), רכיבים (4), חומרים (12), מוליכים למחצה ואלקטרוניקה (19), בינה מלאכותית (108), חיישנים (54), סימולציה והדמיה (7), טכנולוגיית פלטפורמות וממשקים (90), מכונות ורובוטיקה (44), הצפנה (2) ומחשוב קוונטי (1).

איור 12: הטכנולוגיות העיקריות של חברות תעשייה 4.0 בישראל



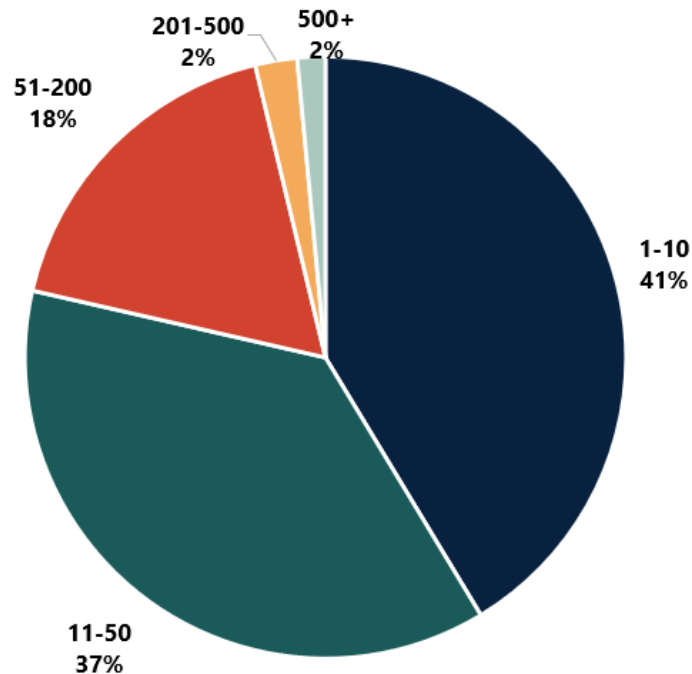
מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

⁴⁴ יום עיון של מרכז גורדון להנדסת מערכות בטכניון בנושא מהנדסות מערכות מובילות הנדסת מערכות מתקדמת שהתקיים ב-24.1.23.
⁴⁵ החיפוש בוצע לפי ה-tag industry 4.0

ל-207 חברות (75%) יש מוצר קיים ו-42 חברות בשלב הפיתוח. 4 חברות בשלב פיתוח לקוח. שאר החברות (21) נמצאות בשלב אלפא או בטא.

רוב החברות הן קטנות או בינוניות כפי שניתן לראות באיור הבא.

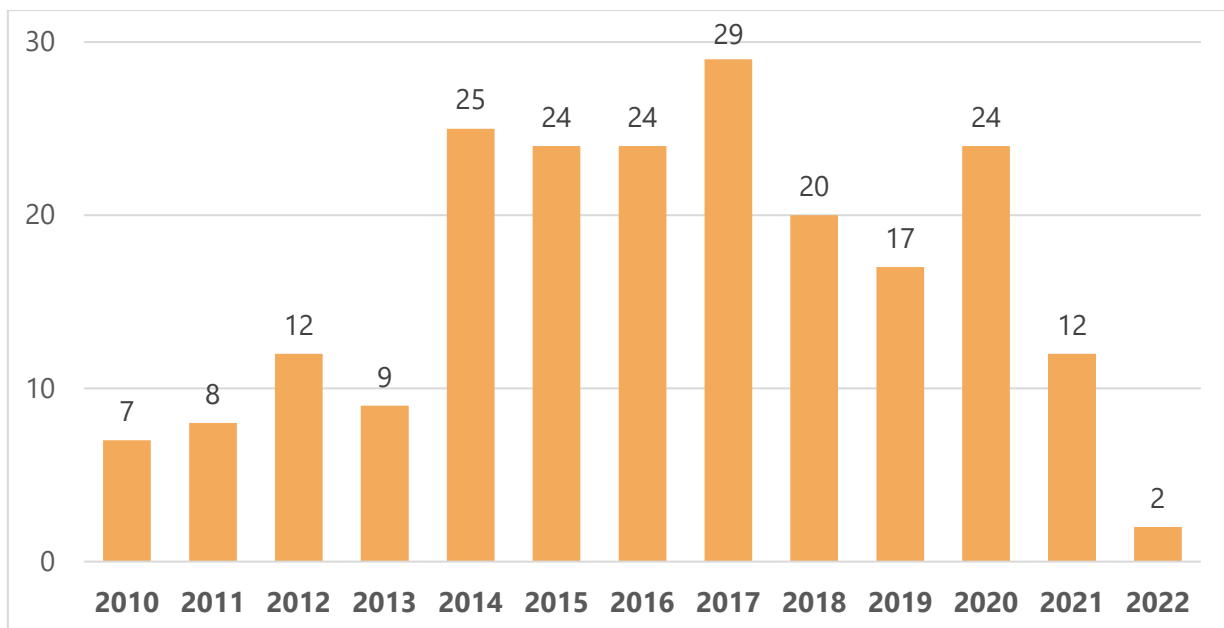
איור 13: חלוקה של החברות לפי מספר עובדים, בתעשייה 4.0



מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

59% מחברות אלו הוקמו בשנים 2014-2020 (163 חברות). 2017 הייתה שנת שיא, בה הוקמו 29 חברות. בשנים 2021 – 2022 חלה ירידה משמעותית.

איור 14: חברות בתחום תעשייה 4.0 בישראל לפי שנת הקמה



מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

2.3 תחומי תואר/ידע בסיסי רלוונטי בתחום תעשייה 4.0

המסלולים האקדמיים בתחום תעשייה 4.0 והנדסה דיגיטלית נבחנו בדוח שפרסם מוסד שמואל נאמן⁴⁶. בדוח נעשתה סקירה של האוניברסיטאות וחלק מהמכללות בארץ לבחינה של תארים הכוללים בתוכניות הלימודים תכנים של הנדסה דיגיטלית ותעשייה 4.0.

טבלה 12: אוניברסיטאות ומכללות, תארים ומסלולים

תואר ראשון / מכללה	תואר ראשון	תואר שני	תואר שלישי
אוניברסיטת בן-גוריון	הנדסת נתונים (מערכות תוכנה ומידע) סטטיסטיקה וניתוח נתונים (מדעי החברה)		למידה חישובית וניתוח נתוני עתק (מערכות מידע)
אוניברסיטת בר-אילן	הנדסת תעשייה ומערכות מידע ניהול לוגיסטיקה עם לימודי מידע (ניהול)		מדעי הנתונים (מתמטיקה) ניהול תעשייתי - תעשייה 4.0 (מדעי החברה) עיבוד מידע ומדעי הנתונים (הנדסת חשמל)
אוניברסיטת תל אביב	חטיבה בבינה מלאכותית ומדעי הנתונים (מדעי החברה ומדעי החיים) מדעי הנתונים (תשפ"ג)	מאסטר-טראק בהנדסה - AI - אינטליגנציה מלאכותית (הנדסת חשמל) מדעים דיגיטליים (תשפ"ג)	תחום מערכות (הנדסה מכנית) תחום תפעול ולוגיסטיקה בעידן הדיגיטלי (הנדסה תעשייה וניהול) תחום אנליטיקה עסקית (הנדסה תעשייה וניהול)
טכניון	הנדסת נתונים ומידע		מערכות אוטונומיות (בינתחומי) תכן וניהול הייצור (בינתחומי) תכן ייצור ותיב"ם (מכונות) מדעי הנתונים (תעשייה וניהול) ניהול מידע (תעשייה וניהול) עיצוב תעשייתי (ארכיטקטורה ובינוי ערים) תכנון ערים ואזורים (ארכיטקטורה ובינוי ערים)
אוניברסיטת רייכמן			למידה חישובית ומדעי הנתונים (מדעי המחשב)
המכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון	טכנולוגיות עילית - בינה מלאכותית (חשמל) רובוטיקה ומערכות אוטונומיות (מכונות) תיכון ועיצוב המוצר (מכונות) מדעי הנתונים (מכונות) מערכות תעשייה (תעשייה וניהול)		

⁴⁶ זונגשיין אביגדור, בנטור ארנון, דיין תמר, בוכניק ציפי, ריינר קובי. הנדסה דיגיטלית והטמעתה בחינוך מהנדסים חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2023. <https://www.neaman.org.il/Digital-Engineering-and-its-assimilation-in-engineering-education>

פירוט התכנים שנלמדים במסלולים השונים מסוכמים בטבלה הבאה.

טבלה 13: התכנים שנלמדים במסלולים השונים

תכנים	מסלול	אוניברסיטה /מכללה
למידת מכונה, כריית ידע, בינה עסקית, מערכות המלצה, עיבוד שפה טבעית	הנדסת נתונים	אוניברסיטת בן-גוריון
הנדסת נתונים, כריית ידע, למידת מכונה, למידה עמוקה, חיזוי אנליטי, נתוני עתק, בינה עסקית	למידה חישובית וניתוח נתוני עתק	
מדע הנתונים, פייתון, למידת מכונה, למידה עמוקה	סטטיסטיקה וניתוח נתונים	
למידת מכונה, תכנות מונחה עצמים, ניהול שרשראות אספקה ומע' לוגיסטיות, תכן הנדסי, סטטיסטיקה תעשייתית וכלי תכנה, למידה עמוקה, אופטימיזציה, תכן מערכות ייצור ורובוטיקה, הנדסת איכות, סדרות עיתיות וחיזוי	הנדסת תעשייה ומערכות מידע	
למידת מכונה, למידה עמוקה	עיבוד מידע ומדעי הנתונים	אוניברסיטת בר-אילן
ניהול טכנולוגיות מידע בתעשייה, ניהול מו"פ טכנולוגי בתעשייה, חקר ביצועים, תעשייה 4.0	ניהול תעשייתי - תעשייה 4.0	
יסודות התכנות, איחזור, תכנות ווב, נתוני עתק, מדעי הנתונים, פייתון	ניהול לוגיסטיקה עם לימודי מידע	
למידת מכונה, למידה עמוקה, נתוני עתק	מדעי הנתונים	
מערכות מידע, נתוני עתק, למידת מכונה, למידה סטטיסטית, בינה מלאכותית	מדעי הנתונים (תשפ"ג)	
למידת מכונה, מערכות מידע ובסיסי נתונים, מבני נתונים ואלגוריתמים, שפת C, פייתון	מדעים דיגיטליים להיי-טק (תשפ"ג)	
למידת מכונה, תורת הלמידה החישובית, למידה עמוקה, אופטימיזציה	מאסטר-טראק בהנדסה - AI - אינטליגנציה מלאכותית	
רובוטיקה, בינה מלאכותית, שיטות חישוביות רכות בתכן ובקרת מערכות, תיב"מ, גרפיקה בעזרת מחשב, תכן מכני, שיטות תכן, מודלים קומבינטוריים בהנדסה	הנדסה מכנית - תחום מערכות	
מדעי הנתונים, טכנולוגיות נתוני עתק, כריית ידע, למידת מכונה, ויזואליזציה של נתונים	הנדסת תעשייה וניהול - תחום אנליטיקה עסקית	אוניברסיטת תל-אביב
תכן קווי ייצור	הנדסת תעשייה וניהול - תחום תפעול ולוגיסטיקה בעידן הדיגיטלי	
פייתון, למידת מכונה, למידה עמוקה, אלגוריתמים	חטיבה בבינה מלאכותית ומדעי הנתונים	
עיצוב ממשקים (UI-UX), IoT, עיצוב מבוסס פרמטרים, אינטליגנציה מלאכותית	עיצוב תעשייתי	
תכן דיגיטלי, עיצוב תעשייתי, שיטות ייצור מבוססות מחשב, שיטות תכנון מתקדמות, בינה מלאכותית	תכנון ערים ואזורים	
סטטיסטיקה, חקר ביצועים, למידת מכונה, אלגוריתמים, תכנות במערכות, נתוני עתק	מדעי הנתונים	
מסדי נתונים ומחסני נתונים, בינה מלאכותית, מערכות אוטונומיות	ניהול מידע	
למידה חישובית, ניתוח נתונים מבוסס מודלים, מערכות נתוני עתק, בינה מלאכותית	הנדסת נתונים ומידע	
למידת מכונה, למידה עמוקה, נתוני עתק, מערכות אוטונומיות	מערכות אוטונומיות	

אוניברסיטה /מכללה	מסלול	תכנים
	תיכון וניהול הייצור	תיכון לייצוריות ולהרכבה, עקרונות תכן, ייצור מיקרו-מערכות אלקטרומכניות, רובוטיקה, תכן הנדסי
	תכן ייצור ותיב"ם	פיתוח וייצור מוצרים חדשים, תכנון וייצור ממוחשב, שיטות תכנון מנקודת ראות של חיי המוצר, מערכות ושיטות מידול וייצור מתקדמות כגון: הנדסה לאחור, מערכות אופטיות ומיקרו מערכות, מערכות ייצור גמישות ותהליכי ייצור כגון: הרכבה וייצור חלקים, עיבוד מכני ופלסטי
אוניברסיטת רייכמן	למידה חישובית ומדעי הנתונים	נתוני עתק, מסדי נתונים, למידה עמוקה
	טכנולוגיות עילית - בינה מלאכותית	למידת מכונה, פייתון, למידה עמוקה
	רובוטיקה ומערכות אוטונומיות	תיכון ופיתוח מערכות אוטונומיות, אוטומציה תעשייתית, רובוטיקה, מערכות ייצור ממוחשבות, תכן בעזרת אלמנטים סופיים, טכנולוגיות ייצור
המכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון	תיכון ועיצוב המוצר	תכן הנדסי ועיצוב, טכנולוגיות ייצור, מערכות ייצור ממוחשבות, תכן בעזרת אלמנטים סופיים
	מדעי הנתונים	אחזור מידע, מערכות המלצה, כריית ידע, למידה עמוקה, כלים מתקדמים במדעי הנתונים
	מערכות תעשייה	רובוטיקה ואוטומציה, יישום מערכות מידע בתעשייה, מערכות ייצור ממוחשבות, מדעי הנתונים, יישומי מחשב, תכנות

2.4 צרכי התעשייה להכשרות LLL בתחום תעשייה 4.0 והנדסה דיגיטלית

במסגרת העבודה הנוכחית נשלח שאלון לבחינת צרכי הכשרות LLL בחברות לתחומי תעשייה 4.0 והנדסה דיגיטלית⁴⁷ (סיכום ממצאי השאלון מופיע בנספח לחלק זה). עלה צורך בתחום של הדפסה תעשייתית וטכנולוגיית SLS - Selective Laser Sintering.

בדו"ח - הנדסה דיגיטלית והטמעתה בחינוך מהנדסים⁴⁸ - בוצע גם סקר שבחן את הפער הקיים במיומנויות דיגיטליות במגזר העסקי. מטרתו הייתה להעריך את הפער הקיים בתחום זה ואת החשיבות בלימוד ויישום של מיומנויות דיגיטליות בחברות תעשייתיות, עסקיות וציבוריות.

לשאלה אלו מיומנויות דיגיטליות נדרשות כיום מהמהנדסים, עלו הנושאים הבאים:

יותר ממחצית מהנשאלים ענו כי נדרשת המיומנות של ניתוח מודלים סטטיסטיים ולמידת מכונה; כמחצית מהמשיבים ציינו כי נדרש תכן הנדסי-תיב"ם (47%); 40% ציינו כי יש צורך בתכנות - בעיקר צוינה שפות התכנות פייתון ו-C; מיומנויות נוספות שעלו היו מערכות ERP; עיבוד אותות; IoT - אינטרנט של הדברים; מיומנויות אופיס; אלגוריתמיקה; מערכות QA; רובוטיקה.

⁴⁷רשימת העונים לשאלון LLL: , חברת Grid4C, מייסדת ומנכ"לית ודניאל מאיר, חברת DM Digital Manufacturing3, מייסד וסמנכ"ל טכנולוגיות.

⁴⁸זונגשיין אביגדור, בנטור ארנון, דיין תמר, בוכניק ציפי, ריינר קובי, ראובן כץ. הנדסה דיגיטלית והטמעתה בחינוך מהנדסים חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2023. <https://www.neaman.org.il/Digital-Engineering-and-its-assimilation-in-engineering-education>, נספח 2

2.5 מצב קיים – הכשרות LLL בתחום תעשייה 4.0 והנדסה דיגיטלית

בתשובות לשאלון לבחינת צרכי הכשרות LLL בחברות לתחומי תעשייה 4.0 והנדסה דיגיטלית⁴⁵ נמצא שלתחום מתקיימת הכשרה פנימית והיא מתמקדת בעיקר בנושא בינה מלאכותית – הניתנת באמצעות קורסי אונליין של Coursera.

בסקר (נספח 2) שבוצע בדו"ח הנדסה דיגיטלית והטמעתה בחינוך מהנדסים⁴⁶ לשאלות בנוגע להכשרות הניתנות בחברה, 67% ענו כי בחברתם ניתנות הכשרות פנימיות/חיצוניות למהנדסים/ות בנושאים של מיומנויות דיגיטליות. מתוכם בכ- 30% ניתנות מעל 10 שעות בחודש, ב- 30% ניתנות 6-7 שעות בחודש וב- 40% מהחברות ניתנו פחות מ-5 שעות הכשרה.

קורסים לדוגמה הניתנים בחברות:

- תכנון באמצעות מחשב (תיב"ם)
 - בינה מלאכותית (AI), למידת מכונה (ML)
 - השתלמות למנהלים טכניים - כולל היכרות עם הכלים התהליכים וסביבות נדרשות
 - השתלמות למהנדסי מערכת
 - קורס בזיהוי דיבור
 - קורס בקרה הכולל שימוש ב- פיתון/SIMULINK
 - קורסים בבקרים מתוכנתים, קורס ב- AI
 - רישום שנתי⁴⁹ LinkedIn learning
 - תכנות בקרים, תכנות מערכות ראייה ממוחשבת - הדרכות פנימיות על ידי מהנדסי החברה
- במיפוי שערכנו בחלק א' של עבודה זו נמצאה 2 הכשרות LLL לתחום תעשייה 4.0, שעונה על הקריטריונים שנקבעו למחקר זה:

קורס ניהול ייצור מתקדם של בית הספר למצוינות של Lean Israel בשיתוף עם התאחדות התעשיינים ו-KPMG.

מטרות הקורס:

לחבר את עולם התעשייה המסורתי למתודולוגיות ניהול ייצור מתקדם בתחומים של מצוינות תפעולית ו- Industry 4.0 על מנת לסייע לארגונים לשנות את דרכי העבודה, שיטות הניהול ולפתח תרבות של מצוינות ארגונית שתניב יתרונות עסקיים וכלכליים.

תכני הקורס:

מימוש עקרונות המצוינות והטמעת כלים מעולם ה Lean Management כגון:

- איזון קו ייצור/הרכבה לפי קול הלקוח (TAKT) שמביא לזרימה ומשיכה של הערך ללקוח
- עקרון החשיבה ההוליסטית שמועצם כאשר מבצעים מיפוי שרשרת הערך VSM – Value Stream Mapping וכאשר מתכננים את האסטרטגיה הארגונית ב PDM – Policy Deployment Matrix.

⁴⁹ LinkedIn learning - מערכת הלימוד וקורסים - לינקדאין פיתחה מערכת לימוד אונליין של מאות נושאים מקצועיים שמועברים ע"י טובי מרצים מכל העולם.

- אבן היסוד של עולם ה-LEAN – כבוד לאנשים שהוא עקרון מפתח בהטמעת כלים כמו לוח בקרה ושיבה בעמידה
 - סילוק וצמצום בזבזים, מתודולוגיות לפתרון בעיות (כמו WHY5 ועצם דג) שיעזרו למשתתפים לאמץ עקרונות של חשיבה מדעית
- מעבר לתעשייה חכמה ושילוב תכנים מעולם ה- Industry 4.0 בתעשייה המסורתית:
- חשיפה לתחומים מהעולם הטכנולוגי: סייבר, BI, Additive Manufacturing, BIG DATA, מחשוב ענן, שילוב רובוטיקה בייצור ועוד
 - דרכי התמודדות מול אתגרים שעולים במעבר לתעשייה חכמה

הכשרת טכנולוגיות ייצור מתקדם לתעשייה של מונה - האקדמיה היישומית להייטק

מסלול הכשרה והשמה המקנה למידה עיונית ומעשית בתחומי הרובוטיקה, האוטומציה וטכנולוגיות תעשייה 4.0, הכולל מיומנויות השתלבות והובלה בתפקידי מפתח בחברות התעשייה. המסלול מבוסס על התנסות מעשית בתפעול טכנולוגיות ופיתוח פרויקטים. עבודה בקבוצות והכרות עם כלל התחומים המקצועיים כמו תכנות, בקרה, חשמל והדפסת תלת מימד. התוכנית מלווה ע"י חברת קונטל המתמחה בטכנולוגיות ייצור מתקדם ובשיתוף המפעלים: ת.מ.ה, ארד, תנובה, כיל, חיפה גרופ, קמ"ג.

תחומי התכן

יישומי רובוטיקה, IOT, תוכנה, פנאומטיקה, חיישנים מתקדמים, בקרים אלקטרוניים, טכנולוגיות ייצור מתקדמות CNC, (הדפסת תלת-מימד), vision machine, תכנון פרויקט, בקרה ומעקב, אינטגרציה ובדיקות מיקרו-בקר ארדואינו (תכנות בשפת ++C), בקר תעשייתי (UNITRONICS) תכנות דיאגרמת סולם, תכנות סביב פרויקט (יכול להיות אתר, אפליקציה, ממשק משתמש GUI).

בנוסף ההכשרה מקנה מיומנויות פיתוח ומיתוג מקצועי אישי, בניית קריירה, והתנהלות צוותית בסביבה טכנולוגית/תעשייתית.

בוגר ההכשרה משתלב בתעשייה מתקדמת במסלולים קיימים ו\או כחלק מתהליכי שינוי במפעלים הנמצאים בתהליך טרנספורמציה להתנהלות כ"מפעל חכם" (Industry 4.0).

תיאור התוכנית

- תכנית מותאמת לצרכי התעשייה - הכשרה אינטנסיבית, יישומית ומבוססת פרויקט בניה ושדרוג יכולות ייצור תוך מתן דגש על מיומנויות טכנולוגיות לצד מיומנויות אישיות ובין אישיות הנדרשות למאה ה-21 בתחום התעסוקה.
- הכשרה בסביבת פס ייצור מתקדם במעבדת מונא הכוללת רובוטים, מצלמות חכמות, בקרי תעשייה מתקדמים, מערכות ייצור אוטומטי וכלי תיב"ם.

קהל היעד

- הנדסאים ומהנדסים מתחומי הטכנולוגיה שטרם השתלבו בשוק העבודה
- הנדסאים ומהנדסים
- מנהלי דרג ביניים
- בעלי תפקידים מתחום התפעול והייצור

- מנהלי ייצור המעוניינים לשדרג את תעסוקתם בעולם המתפתח לכיוון ייצור מתקדם

היקף הקורס

6 שבועות לימודים מלאים במרחב האימון של חברת מונא (5 ימים בשבוע) - סה"כ 270 שעות לימודיות, ובנוסף עשרה שבועות של ליווי במציאת עבודה.

ההכשרה היא מעשית סביב פרויקט המגיע מהחברות השותפות לתוכנית בתחומי design verification -I systems integration ומשלבת את כלל המיומנויות הנדרשות לעולם התעסוקה המתקדם, היא ללא עלות ובשיתוף הרשות לחדשנות.

בסיום הקורס, בעמידת בדרישות של 85% נוכחות והגשת פרויקט בסיום, מקבלים תעודת סיום.

2.6 השלמות נדרשות – פער בין הצרכים לקיים

במסגרת הסקר המוצג בנספח 2 בדו"ח - הנדסה דיגיטלית והטמעתה בחינוך מהנדסים⁵⁰ הנשאלים נתבקשו לפרט באילו תחומים/מיומנויות דיגיטליות קיים פער בין הידע שהמהנדס/ת מגיע/ה איתו לידיע הנדרש לעבודה. מהתשובות לשאלה זו עלו הנושאים הבאים:

- תכנות, ניתוח מודלים סטטיסטיים ולמידת מכונה
- ידע בתכנות מובנה וארכיטקטורות תוכנה
- עיבוד אותות
- עבודה עם software development and versions control
- לקחת תוכנה מפיתוח לייצור (production)
- עבודה בענן
- שיתוף נתונים והעברת ידע
- עבודה בפרויקטים/מעבדות בתחום

כמו כן עלו הערות כלליות:

- חוסר הידע גורם לאי שימוש בטכנולוגיות (לדוגמא: חלק מהחברות משתמשות עדיין בטבלאות אקסל במקום במערכת דיגיטלית תומכת מותאמת בעיקר בגלל החשש שיאבדו שליטה במרחב הדיגיטלי)
- פער בין התאוריה לפרקטיקה (ניסיון מעשי) - השתתפות בפרויקטים במהלך התואר בהם המהנדס נחשף לכלל ההיבטים של הפרויקט, כולל הסתכלות על סימולציות, ניהול דרישות וכו' – יכול ליעל ולקצר את עקומת הלימוד.

בנוסף, בתשובות לשאלון לבחינת צרכי הכשרות LLL בחברות לתחומי תעשייה 4.0 והנדסה דיגיטלית⁵¹ (סיכום ממצאי השאלון מופיע בנספח לחלק זה). צוינו שתחומי השלמות נדרשים במיוחד בתחום של הדפסה תעשייתית וטכנולוגיית SLS. בנושאי תחום המחשוב, ובאופן ספציפי תחום הבינה המלאכותית, תחומים אלה מתפתחים בקצב מהיר כך שיש צורך בלימוד שוטף. המענה המהיר ביותר לכך הוא קורסים ומאמרים אונליין.

⁵⁰ זוננשיין אביגדור, בנטור ארנון, דיין תמר, בוכניק ציפי, ריינר קובי. הנדסה דיגיטלית והטמעתה בחינוך מהנדסים חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2023. <https://www.neaman.org.il/Digital-Engineering-and-its-assimilation-in-engineering-education>, נספח 2

⁵¹ רשימת העונים לשאלון LLL, חברת Grid4C, מייסדת ומנכ"לית ודניאל מאייר, חברת DM Digital Manufacturing, מייסד וסמנכ"ל טכנולוגיות.

2.7 סיכום ומסקנות

ע"פ סקירה בארץ ובעולם נראה שאין כמעט תוכניות להנדסה דיגיטלית שעומדות בפני עצמן כתוכניות לתואר לכן נכון יותר לשלב הנדסה דיגיטלית בתוכניות הלימוד, לאו דווקא כתואר בפני עצמו אלא בתוך התוכניות או כאשכול (מיינור) או כתוכנית לימוד לאורך החיים.

בדוח שפרסם מוסד שמואל נאמן "הנדסה דיגיטלית והטמעתה בחינוך מהנדסים"⁵² מפורטות מתווה ללימודי הנדסה דיגיטלית למהנדסים במסגרת LLL והמלצה לאשכול אוריינות דיגיטלית.

מתווה מוצע ללימודי הנדסה דיגיטלית למהנדסים במסגרת תכנית ללימודים לאורך החיים

הצעד הראשון בפיתוח וקידום הנדסה דיגיטלית היא חינוך והכשרה למנהלים, למהנדסים ולכל סגל העובדים המקצועי העוסק בפיתוח, בהנדסה, בייצור, בתחזוקה ובאספקה של המערכות המורכבות. יש לציין שרוב אוכלוסיית היעד הזאת היא וותיקה, וחלקה הגדול לא זכה להכשרה דיגיטלית מסודרת לאורך חייו.

מטרות

גיבוש מתווה ותוכנית מסגרת להכשרה מעשית של מהנדסים להנדסה דיגיטלית, במסגרת תוכנית לימודים **לאורך החיים למהנדסים בכל הדיספלינות המקצועיות ובכל טווח הניסיון והגיל.**

שיטה

לימודים של מגוון נושאים בתחומי הנדסה דיגיטלית, לפי פרשיות מקצועיות מוגדרות. כל פרשייה מתוכננת לעמוד בפני עצמה, אבל בין מספר פרשיות מומלצים קשרים מסוימים, כמו: שרשראות מומלצות ללימוד, מקצועות קדם.

בכל פרשיית לימודים הכוונה לכלול הדגמות מעשיות על ניתוחי אירועים, סימולציות, פרויקטים מעשיים מונחים, ותרגילים להתנסות הלומדים.

מתווה ראשוני מוצע

המתווה המוצג כאן הוא ראשוני ובנוי על פי דוח זה ועל סקר תוכניות הלימודים הנהוגות בנושא זה בארץ ובעולם. מתווה זה מהווה בסיס להמשך פיתוח התוכנית עם מומחים בארץ ובעולם.

נושאי לימוד המוצעים

- מבוא ליישום הנדסה דיגיטלית: הגדרות, מושגים, עקרונות, אתגרים, תועלות ויתרונות, מחסומים ומכשולים.
- יסודות ויישומי פייתון להנדסה.
- יסודות ויישומי אלגוריתמיקה להנדסה.
- הנדסה מבוססת נתונים ודאטה (יישום מדעי הנתונים להנדסה).
- יסודות בינה מלאכותית ולמידת מכונה ויישומן בהנדסה.
- תכן ג'נרטיבי ותכן להדפסות תלת ממד.
- יישום מודלים וסימולציות בתכן והנדסה.
- יסודות הנדסת מערכות, חשיבה מערכתית, הנדסת מערכות מבוססת מודלים MBSE.
- יסודות התאום הדיגיטלי ויישומו בתכן והנדסה.
- יישום והדגמות של הנדסה דיגיטלית בייצור מתקדם ותעשייה 4.0.
- יסודות ויישום תחזוקה חזויה במפעלים ותשתיות וניטור בריאות מבנים.

⁵² זונגשיין אביגדור, בנטור ארנון, דיין תמר, בוכניק ציפי, ריינר קובי. הנדסה דיגיטלית והטמעתה בחינוך מהנדסים חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2023. <https://www.neaman.org.il/Digital-Engineering-and-its-assimilation-in-engineering-education>

- תכן והנדסה של מערכות עתירות תוכנה, כולל יישום גישות אגיליות.
- תכן והנדסה של מערכות הכוללות אינטרנט של הדברים IoT.
- תכנון ויישום הנדסה דיגיטלית בהנדסת איכות, אמינות ובטיחות.
- תכנון ויישום הבטחת סייבר למערכות המבוסס על הנדסה דיגיטלית.
- התנסות, תרגול והדגמת שימוש במדגם תוכנות ליישום הנדסה דיגיטלית.
- פרויקט התנסות בפיתוח מערכות חכמות ומקושרות.

המלצה לאשכול אוריינות דיגיטלית

במסגרת צוות אוריינות דיגיטלית שפועל במסגרת מוסד נאמן, נבחנו דרכים שונות לשפר את האוריינות הדיגיטלית של סטודנטים להנדסה (למעט אולי הנדסת חשמל). בין היתר עלתה האפשרות להציע אשכול של "מקצועות בסיס" הנדרשים להכשרה של מהנדס שיהיה בעל כישורים דיגיטליים הנדרשים כבר היום בשוק העבודה. במסגרת זאת הוצעו המקצועות הבאים:

1. פייתון
2. יסודות אלגוריתמיקה
3. איסוף וניתוח נתונים (ביג דאטה) ויישומי AI
4. תכן מונע סימולציה
5. קורס/מעבדה התנסותית-אינטגרטיבית לסיכום הידע באשכול

האשכול מתוכנן כך שלא יהיה משויך לפקולטה ספציפית, אולם יהיה זמין לכל הסטודנטים להנדסה שיהיו מעוניינים בכך, כאשר קורס אחד (קורס/מעבדה התנסותית) יכול להיות בנוי כך שהוא רלוונטי לדיסציפלינה הפקולטית ואולי גם קורס נוסף של תכן מונע סימולציה.

2.8 נספח א - ניתוח תשובות לשאלון בתחום תעשייה 4.0 והנדסה דיגיטלית

העונים:

1. Dr. Noa Ruschin-Rimini, חברת Grid4C, מייסדת ומנכ"לית

2. דניאל מאייר, חברת 3DM Digital Manufacturing, מייסד וסמנכ"ל טכנולוגיות

מהי הדיסציפלינה האקדמית שבה קיבלו הכשרה המהנדסים שעובדים כיום בחברה שלך, ואיזה הכשרה נוספת נדרשת לצורך פעילות החברה בתחומי תעשייה 4.0 והנדסה דיגיטלית?

▪ פיזיקה

▪ הנדסת מכונות

▪ הנדסת חומרים

▪ מדעי המחשב

- הנדסת תכנה

האם ניתנת לעובדי החברה שלך הכשרה בתחומי תעשייה 4.0 והנדסה דיגיטלית (בתוך החברה או הכשרה חיצונית)? במידה וכן איזה הכשרה?

▪ הכשרה פנימית בלבד.

▪ בעיקר בנושא בינה מלאכותית - בעיקר קורסי אונליין של Coursera.

האם קיימים צורכי הכשרת כוח אדם בתחומי תעשייה 4.0 והנדסה דיגיטלית שאין להם כיום מענה?

▪ כן. במיוחד בתחום של הדפסה תעשייתית וטכנולוגיית SLS.

▪ מניסיוננו יש מענה לכל הצרכים ע"י מאמרים וקורסים אונליין.

האם צפוי שינוי בהכשרות שיידרשו לכוח האדם בתחום זה בעתיד הקרוב מבחינת כמות ו/או סוג הכשרה והאם נדרשת היערכות/ התאמת ההכשרות לקראת שינויים אלו?

▪ לא. אם תהיה הכשרה חיצונית מתאימה נשלח את האנשים להכשרה הזו.

▪ תחום המחשוב, ובאופן ספציפי תחום הבינה המלאכותית, תחומים אלה מתפתחים בקצב מהיר כך שיש צורך בלימוד שוטף. המענה המהיר ביותר לכך הוא קורסים ומאמרים אונליין.

3. הדפסת תלת-מימד של חומרים מתקדמים, טכנולוגיות ויישומים

3.1 רקע

הדפסת תלת מימד מכונה גם ייצור הוספה או ריבוד שכבות. זוהי שיטת ייצור חדשנית שצוברת תאוצה בשני העשורים האחרונים. איך זה עובד? השיטה משתמשת בתכן ממוחשב (CAD) תלת מימדי כמודל עבור הייצור של חלקים על ידי הוספת שכבה על גבי שכבה. ריבוד השכבות מאפשר לייצר חלקים בעלי גיאומטריה מסובכת במיוחד שלא ניתן ליצר בשיטות ייצור אחרות.

הדפסת התלת מימד היא טכנולוגיה שחוצה סקטורים. היתרונות הפונקציונאליים המגוונים שלה מקנים ערך מוסף למגזרים שונים והיא משפיעה על טווח גדול של עסקים כדוגמת: אווירונאוטיקה, יהלומים, רפואה ובנייה. התחום קיים גם בתעשייה האווירית ובתעשיות ביטחון אחרות.

מחקר ופיתוח משמעותי נעשה בתחום של סוגי החומרים המשמשים לתעשייה זו. במהלך 30 השנים האחרונות, נעשה אפיון של מגוון רחב של חומרים להדפסת תלת מימד. התחום מתקדם ומתפתח במהירות הן מבחינת הטכנולוגיה והן מבחינת חומרי ההדפסה ותופס את מקומו ביותר ויותר תחומים. מדינות רבות הכירו בחשיבות של הדפסת תלת מימד ובצורך בהשקעה לאומית בתחום וכן פעילויות מו"פ הממומנות ע"י ה-EU בתחום גדלו בשלושת העשורים האחרונים.

סוגי החומרים העיקריים להדפסת תלת מימד הם: פלסטיקה ופולימרים, קרמיקה ומתכות.

קיימות טכנולוגיות שונות בשימוש בהדפסת תלת מימד: Thermoplastic Extrusion הינה הטכנולוגיה הנפוצה ביותר. טכנולוגיות אחרות בשימוש הן: Selective laser sintering (SLS), Stereolithography, Digital Light Processing (DLP), 3D Inkjet Printing, Direct Metal Laser (DMLS), Selective Laser Melting (SLM) ו-4D Printing. טכנולוגיה 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.

טכנולוגיית הדפסת תלת מימד נמצאת כיום בשימוש נרחב ביישומי תעופה וחלל, רכב ורפואה. ההתקדמות המתמשכת בטכנולוגיות הדפסת תלת מימד שינתה את הדרכים הפוטנציאליות בהן מוצרים מתוכננים, מפותחים, מיוצרים, מתוחזקים 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 בהדפסת תלת מימד בעיקר לייצור אב-טיפוס, המסלול הטכני של הדפסת תלת מימד מוביל לשימוש בחדשנות במוצרים וייצור ישיר בנפח גבוה בעתיד.

היישומים הרפואיים של הדפסת תלת מימד מתרחבים במהירות וצפויים לחולל מהפכה בתעשיית הבריאות. השימושים הרפואיים מתמקדים בייצור רקמות ואיברים, יצירת תותבות, שתלים, איברים חליפיים ומודלים אנטומיים ומחקר תרופות בנושא גילוי, משלוח ומינור תרופות.

הדפסת תלת מימד היא אחת הטכנולוגיות שמאפשרות כיום התאמה אישית ללא עלויות נוספות. מוצרים אלה כוללים שיניים, דגמים אורתודנטיים, כתרים, גשרים, תותבות ואפילו כלים כירורגיים.

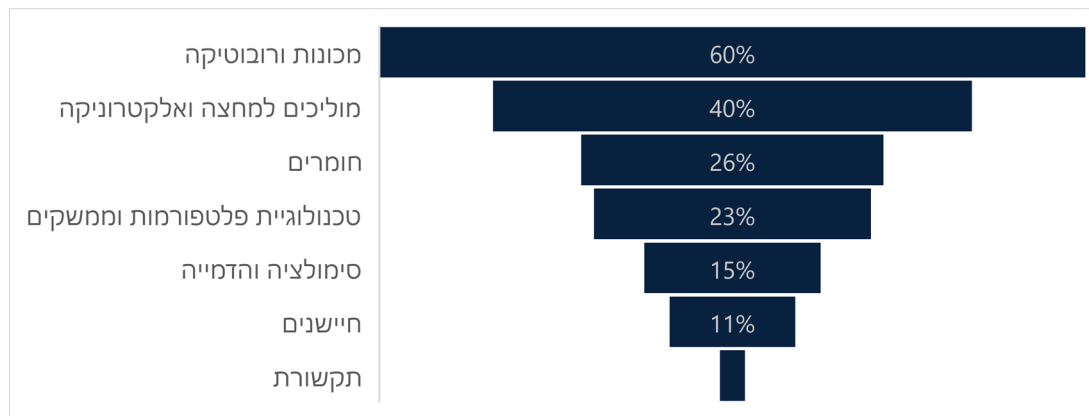
מאידך קיימים גורמים המגבילים את צמיחת החומרים המתקדמים לשוק הדפסת התלת מימד כגון עלות חומר גבוהה. עלויות החומר משתנות בהתאם לתכונות המכניות של החומרים ובהתאם לקלות ולמהירות של הייצור שלהם. למחירי חומרי הגלם בתעשיית הדפסת התלת מימד יש השפעה שלילית לא רק על העלות של בעל הקניין אלא גם על העיכוב באימוץ רחב יותר של הטכנולוגיה. מחיר החומרים מעלה את רף הכדאיות ומטה את ההבדל בעלויות בין ייצור בשיטת הדפסת תלת מימד לייצור קונבנציונאלי.

3.2 חברות בתחום הדפסת תלת מימד

לפי סטארט-אפ ניישן סנטרל⁵³, פועלות כיום בישראל 47 חברות סטארט-אפ בתחום, לעומת 20 חברות ב-2014.

טכנולוגיות הליבה שבהן הן עוסקות: תקשורת (1), חומרים (12), מוליכים למחצה ואלקטרוניקה (19), חיישנים (5), סימולציה והדמיה (7), טכנולוגיית פלטפורמות וממשקים (11), מכונות ורובוטיקה (28)⁵⁴.

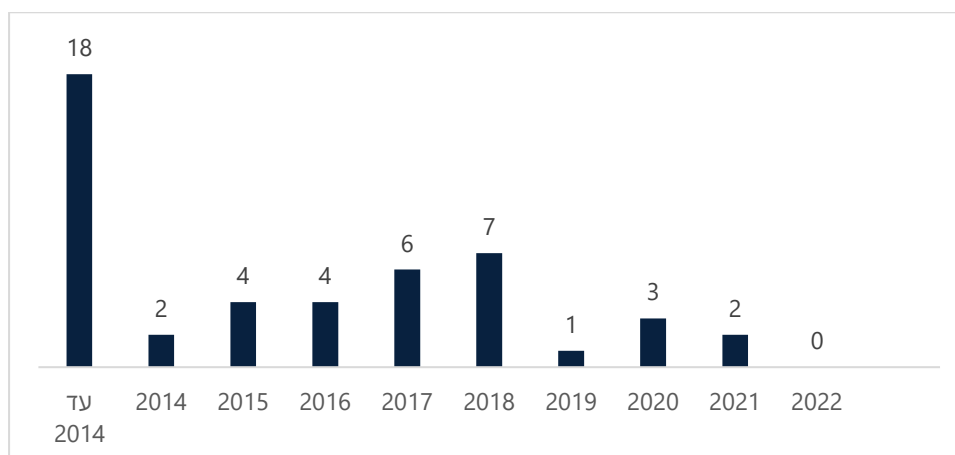
איור 15: הטכנולוגיות העיקריות של חברות תעשיות בתלת מימד בישראל



מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

עד 2018 חל גידול מסוים במספר החברות החדשות שהוקמו בתחום מידי שנה ומ-2019 חלה ירידה. בשנת 2022 לא הוקמה אף חברה בתחום זה.

איור 16: חברות בתחום התלת מימד בישראל לפי שנת הקמה



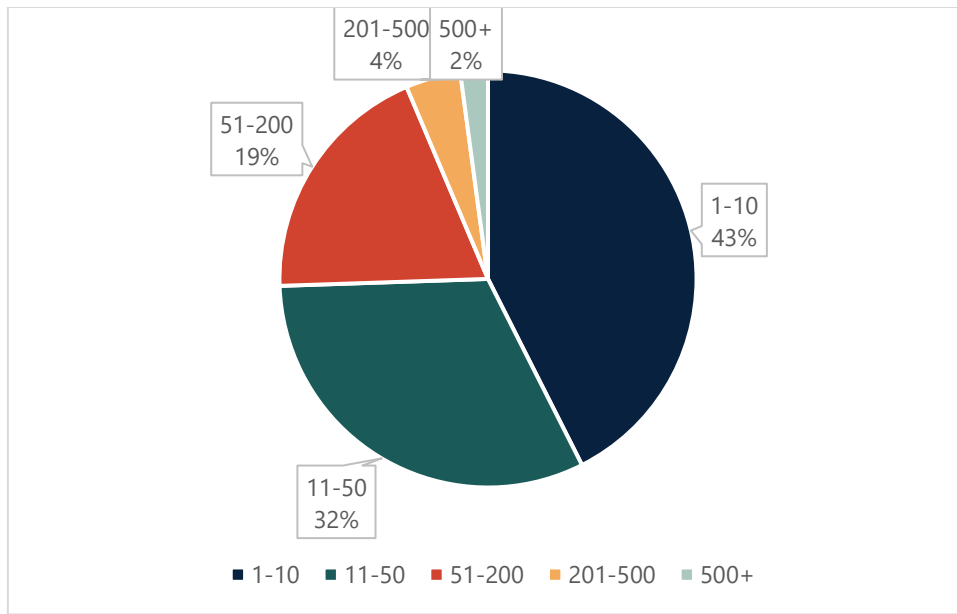
מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

⁵³ לפי התגיות: additive-manufacturing, 3d-printed electronics, inject-printing, digital-printing, rapid-prototyping, ⁵⁴ אם לא צוין אחרת מקור הנתונים בתת פרק זה הינם עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder, נכון ליום 06.03.2023

ל-34 חברות (73%) יש מוצר קיים ו-10 חברות בשלב הפיתוח. שאר החברות (3) נמצאות בשלב אלפא או בטא.

רוב החברות, 75%, הן חברות קטנות שיש בהן עד 50 עובדים (ברוב החברות עובדים עד עשרה עובדים). 19% מהחברות הן חברות גדולות המונות בין 50 ל-200 עובדים ורק 6% הן חברות גדולות המעסיקות למעלה מ-200 עובדים.

איור 17: גודל החברות לפי מספר העובדים בחברה



מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

3.3 תחומי תואר/ ידע בסיסי רלבנטיים להדפסה תלת-מימד של חומרים מתקדמים, טכנולוגיות ויישומים

העובדים בחברות העוסקות בהדפסת תלת מימד הם בעלי הכשרה בסיסית לתואר בתחומי הלימוד הבאים:

- הנדסת תוכנה
- הנדסת חומרים
- הנדסת פלסטיקה
- הנדסת אלקטרוניקה
- הנדסת מכונות
- כימיה
- הנדסה כימית עם דגש על הכשרה בנושא פולימרים
- פיזיקה- מומחים לפיתוח חומרים
- הנדסת אווירונאוטיקה
- הנדסה אזרחית

בחינת ההכשרות הקיימות בתחום הדפסת תלת מימד באקדמיה נעשתה באמצעות סקירת אתרי האינטרנט של המוסדות האקדמיים וראיונות עם אנשי אקדמיה בתחום הדפסת תלת מימד⁵⁵.

הכשרה ממוקדת לתואר ראשון בהדפסת תלת מימד קיימת רק במכללת שנקר - לימודי הנדסת פלסטיקה בהתמחות חומרים והדפסת תלת מימד לתואר BSc.

ההכשרה לתחום התלת מימד שניתנת באוניברסיטאות ניתנת במסגרת של קורסים בודדים באוניברסיטת ת"א בפקולטה להנדסה מכנית, בטכניון בהנדסת אווירונאוטיקה ובלימודי חוץ של הטכניון לבוגרי תואר אקדמי בהנדסה, באוניברסיטת בן גוריון בביוטכנולוגיה, באוניברסיטה העברית במדעי הטבע-כימיה ובאוניברסיטת חיפה ובאריאל (קורס להנדסאים) ניתנים קורסים בעיצוב תלת מימד. במכללות ניתנים קורסים במכללת רמת גן, בבצלאל ובשנקר.

3.4 צרכי התעשייה להכשרות LLL בתחום הדפסה תלת-מימד של חומרים מתקדמים, טכנולוגיות ויישומים

במסגרת העבודה הנוכחית נשלח שאלון לבחינת צרכי הכשרות LLL בחברות בתחום הדפסת תלת מימד⁵⁶ (סיכום ממצאי השאלון מופיע בנספח לחלק זה). ממצאי המענה לשאלון שולבו בחלק זה יחד עם ממצאים בנוגע לצרכי הכשרת כ"א בתעשייה בתחום הדפסת תלת מימד, שעלו במסגרת ראיונות⁵⁷ והפצת שאלון, במסגרת עבודות קודמות שבוצעו ע"י מוסד שמואל נאמן⁵⁸.

התמונה שעולה הינה שלא קיים כיום מענה לצרכי כוח האדם הנדרש בישראל בתחום הדפסת תלת מימד של חומרים מתקדמים. עפ"י הראיונות קיים מחסור של כוח אדם מקצועי (מהנדסים והנדסאים) בתחום. נדרש כוח אדם מיומן בתחומי פיתוח ויישום חומרים להדפסת תלת מימד, לתכנון מוצרים ותהליכים לייצור בתלת מימד ולתפעול ותחזוקת ציוד היצור בתחום. ישנו מחסור בכוח אדם שמכיר היטב את התהליכים, את מגבלותיהם, ואת תהליך הפיכתם למוצרים.

הבעיה העיקרית הינה מחסור במהנדסים בחברות שיישמו את הידע ויפתחו יישומים בתעשיית הייצור. כמו כן יש מחסור באנשי מו"פ שיידעו לשלב חומרים אורגניים וחומרים אנאורגניים.

רוב ההכשרות בתחום הן הכשרות פנים ארגוניות בחברות, שאינן מספקות מענה לדרישות להכשרת כוח אדם לשנים הבאות. בנוסף, תעשיית התלת מימד מתחרה על ההעסקה של בוגרי הפקולטות הרלוונטיות עם תחומים רבים אחרים.

תהליך המעבר של התעשיות המסורתיות לתהליכים פרמטריים ודיגיטליים בתכנון וייצור אינו מתקדם בקצב הנדרש. בעוד שבישראל קמו חברות היי-טק שפיתחו מדפסות תלת מימד (אוביקט ומסיבית), בתעשייה המסורתית התהליכים האלה לא התרחשו. יש פער גדול בין היכולות של התעשייה בתחום של הדפסת תלת מימד, כך שהדרישה לכוח אדם מיומן בהדפסה קיימת בעיקר במרכזי מחקר של

⁵⁵ ג' דפנה, בוכניק ציפי, גלעד ורד, ברזני אלה, רוה איילת. תחזיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי דו"ח סופי – שנה ד' חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2021. <https://www.neaman.org.il/Technological-forecasting>

⁵⁶ רשימת העונים לשאלון LLL בתחום תלת מימד: העונים: 1. שחר גפני - CEO & Co-Founder - Modix Modular Technologies, 2. שמואל רוזנבאום - מנכ"ל - כנפית תלת מימד, 3. גדעון מאירי - Founder - Non-Polymeric3D - החברה עוסקת בחומרי גלם מתכתיים וקרמיים (ceramics) לייצור חלקים מתכתיים וקרמיים במדפסות תלת מימד. 4. איתן גרוסמן - CTO-Noga3D Innovations - החברה עוסקת בפיתוח פולימרים וחומרים מרוכבים למדפסות D3 לשימוש בטכנולוגיות מסוימות מתוך הטכנולוגיות הרבות הקיימות בשוק להדפסת פולימרים. ⁵⁷ רשימת המראיינים: 1) פרופ' שלמה מגדסי - ראש המרכז להדפסת תלת מימד - האוניברסיטה העברית בירושלים. 2) אמנון שירזלי מרפאל (3) אוהד דולב - מנהל ברפאל בחטיבת מנור את נושא טכנולוגיות ייצור מתקדמות. 4) ד"ר אביגדור זוננשיין- עמית מחקר בכיר במוסד שמואל נאמן. 5) ד"ר אביב זאבי- מנהל זירת תשתית טכנולוגית, הרשות לחדשנות (6) פרופ' עדין שטרן - מהמחלקה להנדסת חומרים - אוניברסיטת בן גוריון, ויו"ר ועדת התקינה בנושא במכון התקנים הישראלי (7) פרופ' עזרי תרזי- ראש מסלול עיצוב תעשייתי בפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים בטכניון. 8) פרופ' שמואל קניג - מייסד המחלקה להנדסת פלסטיקה בשנקר, עומד בראש המחלקה לתואר שני בהנדסת פלסטיקה בשנקר (9) חיים רוזנון - מנהל מכון המתכות.

⁵⁸ ג' דפנה, בוכניק ציפי, גלעד ורד, ברזני אלה, רוה איילת. תחזיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי דו"ח סופי – שנה ד' חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2021. <https://www.neaman.org.il/Technological-forecasting>

פיתוח ציוד רפואי או רפואה, ציוד צבאי והיי-טק ולעומת זאת, התעשייה המסורתית לא עברה את המשוכה הזאת ולכן אין בה כעת דרישה למיומנויות אלה, אבל צפוי שתהיה דרישה בעתיד הקרוב.

3.5 מצב קיים - הכשרות LLL בתחום תלת-מימד של חומרים מתקדמים, טכנולוגיות ויישומים

כיום, רוב ההכשרה הנדרשת לתחום מתבצעת בחברות – On-the-job training. במיפוי שערכנו בחלק א' של עבודה זו נמצאו שתי הכשרות LLL לתחום תלת מימד, העונות על הקריטריונים שנקבעו למחקר זה:

1. בטכניון⁵⁹ - דיגיטליזציה והדפסת תלת מימד-

עם זכייתה של היחידה ללימודי המשך של הטכניון בקול קורא של רשות החדשנות לסבסוד קורסים חדשניים וייחודיים בשילוב מכוני מחקר וחברי סגל בטכניון, פותחת היחידה, בין היתר, קורס מקצועי לדיגיטליזציה והדפסה בתלת-מימד. הקורס נבנה לטובת הכשרת כוח אדם טכנולוגי בתחומים הנדרשים ביותר כיום בתעשייה. המטרה לחבר בין דרישת ההיי-טק הישראלי לטכנולוגיות ריבוד שכבות, לבין הפוטנציאל האנושי האדיר הנמצא אצל המהנדסים והמהנדסות הצעירים.

הקורס כולל 2 חטיבות לימוד: הרצאות פרונטליות (100 שעות) ותרגולים/מעבדות (100 שעות נוספות) כאשר התכנים מועברים על ידי מרצים מומחים בתחומם וחוקרים בטכניון, ומתמקדים בשלושה נושאים מרכזיים:

טכנולוגיות הדפסה ועיצוב תכונות המוצר המודפס (כולל סקירת תהליכים פיזיקליים האחראיים על כך) ויישומים

דיגיטליזציה, תכן ממוחשב ואופטימיזציה של צורת המוצרים המודפסים

יסודות תכן תעשייתי ותפקודי של המוצרים

בקורס הדפסה בתלת מימד המשתתפים מקבלים את הכלים להבנת בסיס ושליטה בתהליכי ריבוד שכבות: פעולת ציוד ובניית מוצר, מגוון חומרי הייצור, תהליכי התכה והתמצקות של מתכות, סנטור מתכות, דיפוזיה, מעברי פאזה, היווצרות מיקרו-מבנה ותכונות של מוצרים ועוד.

הקורס מיועד לבוגרי תארים אקדמיים מתחומי ההנדסה, מדעי המחשב וארכיטקטורה. הנדסאים בעלי ניסיון מעשי של 3 שנים ומעלה בתחומי הנדסה.

הקורס כולל לימוד הידע הקיים בתחום ריבוד שכבות ומאפשר לבוגרו להתקדם במגוון כיוונים כגון: תכנון, פיתוח, תהליכים פיזיקליים וכימיים, אופטימיזציה של צורת המוצר, תכנות ממוחשב ובינה מלאכותית וכו'.

בוגרי הקורס זוכים בסדרת יכולות ייחודיות של הגדרה ותכנון/סימולציה של תהליך ההדפסה כפונקציה של היישום הרצוי של המוצר, כולל בחירת חומר, אופטימיזציה של צורה בעזרת תכנות מתקדם באמצעות מחשב (תיב"ם) ובינה מלאכותית. (מכונה גם תכן ג'נרטיבי).

2. בלשכת המהנדסים, האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל⁶⁰ - סדנת

חידושים ויישומים בהדפסת תלת מימד של מתכות

מטרת הסדנה: להיחשף לטכנולוגיות הדפסת תלת מימד של מתכת, להכיר חומרים להדפסת מתכת, לזהות יישומים להדפסת תלת מימד ממתכת, להכיר את גישת התכן ההנדסי המתאים ליישומי

⁵⁹ טכניון - דיגיטליזציה והדפסה בתלת מימד

⁶⁰ סדנת חידושים ויישומים בהדפסה תלת ממדית של מתכות

הדפסת תלת מימד, להכיר את האתגרים בתהליכי ההדפסה, להמליץ על תהליך הדפסה אופטימאלי ולתמחר פריט מתכתי מודפס, להכיר את הציוד המשמש להדפסת מתכת ולהעריך את עלות ההשקעה בו, להכיר את אנשי המפתח והספקים העיקריים בתחום. קהל היעד: הלימודים מיועדים עבור אנשי טכנולוגיה, מעצבים וייצור בתעשייה, בכללם מהנדסים, הנדסאים וטכנאים העוסקים בתכן הנדסי של חלקים מכאניים או בטכנולוגיות יצור של חלקים מכאניים או באבטחת איכות וביקורת של חלקים מכאניים. הסדנה בהיקף של 15 שעות אקדמיות - 3 מפגשים של 5 שעות אקדמיות. מסיימי הסדנה העומדים בדרישות יהיו זכאים לתעודה מטעם לשכת המהנדסים. הסדנה משמשת לעדכון וריענון, אינה מהווה הכשרה או הסמכה ואינה מוכרת לגמול השתלמות.

קיימים גם קורסי הדפסת תלת מימד שאינם מיועדים לאקדמאים:
להלן דוגמאות:

שנקר לימודי חוץ ולימודי המשך - דיגום דיגיטלי והדפסת תלת-מימד⁶¹

מיועד למי שרוצים להכיר מקרוב את התחום של הדפסות תלת מימד, ייצור דיגיטלי ודיגום דיגיטלי. המשתתפים ירכשו במהלך הקורס כלים לתכנון ועיצוב דגמי תלת-מימד ויתנסו במגוון טכנולוגיות. בתוכנית 3 חלקים:

שלב 1 – תכנון בתוכנת Autodesk Fusion 360.

שלב 2 - לימוד והתנסות בייצור דיגיטלי והדפסות תלת-מימד.

שלב 3 - פרויקט מסכם: מרעיון למוצר

משך הקורס: 25 מפגשים, סה"כ 100 שעות אקדמיות. הקורס במתכונת היברידית - כולל מפגשים פרונטליים בכיתה ושיעורי אונליין בזום.

קהל היעד: בעלי ידע בסיסי בהפעלת מחשב ומייקרים בעלי תשוקה לתחום, המעוניינים ללמוד ולשלב את הניסיון בתחומים של עיצוב, הנדסה, חינוך, אומנות, יזמות וכדומה.

סיסטמטיקס - קורס להדפסה בתלת מימד – 3D Printing⁶²

חברת סיסטמטיקס משווקת טכנולוגיות מחשוב חדשניות.

הטכנולוגיות המשווקות על ידי סיסטמטיקס כוללות:

- מערכות מידע גיאוגרפי (GIS)
- מערכות תיב"ם וניהול מחזור חיי המוצר (D CAD/PLM3)
- כלים למחשוב טכני ומדעי (Technical Computing & Model Based Design)
- טכנולוגיות להדפסה תלת מימדית
- פתרונות לפיתוח מעגלים מודפסים PCB

תכנית הקורס: עקרונות והטכנולוגיות השונות הנפוצות בעולם ההדפסה התלת-ממדית, התנסות עם מגוון של מדפסות ותוכנות שונות להדפסה וטיפול במודלים לפני ואחרי ההדפסה.

הקורס משלב הדפסה, הרצאות, הדגמות ותרגילים מעשיים בתוכנות ההדפסה של היצרנים, תוך שימוש בחוברת הדרכה.

תעודת הסמכה מטעם חברת סיסטמטיקס

מסיימי הקורס יהיו מסוגלים לייצר באופן עצמאי במדפסת שולחנית מוצרים ממגוון חומרים שונים.

קהל יעד: כל אחד ואחת המעוניינים לרכוש ידע בתחום ההדפסה התלת-ממדית.

משך הקורס: 4 מפגשים, 12 שעות

⁶¹ <https://ext.shenkar.ac.il/courses/110>

⁶² <https://www.systematics.co.il/courses/3dp-course>

3.6 השלמות נדרשות - פער בין הצרכים לקיים

תחומי השלמות נדרשים: עיצוב, הנדסת חומרים, אנליזת חוזק בעיצוב תעשייתי, אנליזת זרימה, ניהול מוצר, אוריינות דיגיטלית, אבטחת איכות.

בכל החברות שנסקרו נאמר שנדרשת הכשרה של העובדים בתחום בתוך החברה. נושאי ההכשרה הם:

- לימוד נרחב של התעשייה והטכנולוגיות הנפוצות. היכרות עם עולם המושגים, הכרת טכנולוגיות תעשייתיות/ביתיות.
- ידע בשיטות הדפסה, שמירה על הפרמטרים של הדפסה ותהליכים משלימים לאחר הדפסה.
- טכנאים מולטי-דיסציפלינריים שמבינים בתיב"מ, מכונות, פיקוד ותהליכי ייצור. קיימת חשיבות גם לצד הטכני והיישומי כמלווה אפיון וצרכי לקוח, ונדרשת היכרות עם פתרונות ייצור לתעשייה, צרכים, אתגרים וכד'.
- תכנון נכון של חלקים, תכן וייצור בעזרת מחשב (תיב"ם), תכן ג'נרטיבי (יוצר).
- הבנה במטלורגיה ובעבודה בטמפרטורות גבוהות תוך התייחסות מיוחדת בטיחות.
- עיצוב בתלת מימד ממשק משתמש, עיצוב פולימרים.
- היכרות עם תהליכי ייצור של חלקים. ספציפי לתחום של ייצור (לא Additive -2 (prototype Manufacturing).
- הכשרה בפיתוח: חומרים, מכונות, תוכנה.
- בתכנון, מידול, תכן לייצור בתלת מימד.
- בתחום פיתוח החומרים מתכתיים וקרמיים ייחודיים שהחדשנות בהם היא היכולת להדפיסם לכדי חלקים במדפסות שמיועדות להדפסת חומרי גלם פלסטיים (חלקים מפלסטיק) לימוד של סוגי המדפסות הקיימות, ההבדל בין מדפסות לפלסטיק ומדפסות למתכת וכו'.
- התמחות בתכנון חלקים שונים בתוכנות CAD ובשימוש במדפסות לפלסטיים להדפסתם, כיוון שמכוונים לפיתוח וייצור של חומרים מתכתיים וקרמיים שניתן להדפיסם במדפסות לפלסטיק.

3.7 בהסתכלות קדימה, ההכשרות החדשות שיידרשו לעובדים בתחום:

- יש צורך בהכרה מעמיקה של הטכנולוגיות וכלי התכנון- להכיר את הטכנולוגיות ואת כלי התכנון הקיימים. תוכנית הלימודים להנדסה חייבת לכלול היכרות מעמיקה עם הטכנולוגיות השונות. טכנולוגיית Generative Design היא טכנולוגיית AI המאפשרת להימנע מתכנון ידני והיא משולבת עם היכולות של הדפסה 3D לייצר חלקים כאלו. כיום זה במקרי קצה ובהמשך כל עולם ההנדסה יעבוד כך⁶³.
- הכשרה יסודית בהבנת תהליכי הייצור, מגבלותיהם ותהליכי עיבוד משלים.
- הרחבה והעשרה בתהליכים, חומרים (בעיקר במתכות מנגנוני ההתמצקות שונים מתהליכים מוכרים דוגמת יציקות וחישולים), אנליזות טופולוגיות ותרמיות לחישוב מאמצים שיריים ועיבויים משלימים.
- תוכנה בעיקר בתחום הגרפיקה, עיצוב תעשייתי UI/UX, עיצוב בתוכנות תלת מימד.
- כימיה מתקדמת

⁶³ <https://www.youtube.com/watch?v=RrL4HshuzUw>
<https://www.youtube.com/watch?v=5fXJhyWiQnc>

- התמחות בתהליכי הדפסה מתקדמים, טכנולוגיות הדפסה חדשות, הכרות מעמיקה עם פורמטים של קבצי הדפסה. הכרת המגבלות של הדפסת תלת מימד מול שיטות ייצור מסורתיות. תכנון להדפסה בשימוש בתלת מימד.
- הבנה עסקית, ניהול פרויקטים מולטי-דיסציפלינריים.
- בדיקות חומרים, בדיקות בתהליכי הפיתוח וההנדסה, בדיקות ביצור
- עיבוד תמונה AI
- בעולם בו ניתן יהיה להדפיס חלקים צבעוניים תיזרש הכשרה מיוחדת גם לעולמות הצבע.
- התאמה לטכנולוגיה ספציפית. אם רוצים לתכנן כלי מודפס לשימוש בניתוח ספציפי, זה דורש הבנה גם במכונות (חוזק, תכן וכו'), גם במדפסות תלת מימד כדי להבין את יכולות הייצור ואופן הכנת הקבצים. גם בתהליכים רפואיים כדי להבין את עולם העבודה של המשתמש וגם את העולמות ההיקפיים כמו אתגרים רגולטוריים.

3.8 סיכום

הדפסת תלת מימד היא טכנולוגיה שחוצה סקטורים ומתפתחת במהירות. היתרונות הפונקציונאליים המגוונים שלה מספקים ערך מוסף למגזרים שונים והיא משפיעה על טווח גדול של עסקים. זהו תחום מולטי-דיסציפלינרי הן בהיבט הפיתוח והן בהיבטי היישום.

נראה שהמחקר בתחום מתרכז יותר בתעשייה ופחות באקדמיה וקיים פוטנציאל בתעשייה להצלחה בתחום. נדרשת תוכנית הכשרות שצופה את פני העתיד בתחום. עם התפתחות הנושא בתעשייה ובשוק תגבר הדרישה למומחים בנושא בכל תתי ההתמחויות. נושא הכשרות LLL בתחום, יכול להפוך לצוואר בקבוק להתפתחות התחום בישראל.

3.9 המלצות למדיניות בהכשרות LLL בתחום הדפסת תלת-מימד של חומרים מתקדמים, טכנולוגיות ויישומים

תחום התלת מימד הוא תחום מגוון מאוד ויש בו התפתחויות רבות ושינוי מתמיד מבחינת הידע, הניסיון הציוד שמשתנה כל הזמן והתשתיות, לכן כוח האדם העובד בתחום צריך כל הזמן להתעדכן.

תחומי הלימוד וההשלמות הנדרשות מפורטים בסעיף 'ב' הסתכלות קדימה, ההכשרות החדשות שיידרשו לעובדים בתחום' (בסעיף 1.7).

פיתוח כוח אדם ולימודי המשך (Lifelong learning) בצורה ממוסדת של כ"א בתעשייה בתחום – הכשרות בתוך החברות, הכשרות בשיתופי פעולה של כמה חברות, והרחבת היקף ההכשרות הניתנות בתחום הדפסת תלת מימד במוסדות האקדמיים ובמכללות, כך שיכללו תחומי הדפסת תלת מימד שיש בהן צורך ולא ניתנות בהם כיום הכשרות בכלל והרחבת היקף ההכשרות הקיימות שינתנו בגופים נוספים ובהיקפים גדולים יותר.

עלה צורך במסלולי הכשרה למומחי הדפסת תלת מימד שאינם מהנדסים וכן בהכשרות לטכנאי מעבדה, בשלבי הייצור של החומרים, הן בשרטוט ותכנון חלקים בתוכנות CAD והן בשימוש בהם במדפסות תלת מימד לצרכי ניסויים ובדיקות.

3.10.1 נספח א- ניתוח תשובות לשאלון בתחום תלת מימד

העונים:

1. **שחר גפני** - CEO & Co-Founder - Modix Modular Technologies -
2. **שמואל רוזנבאום** - מנכ"ל - כנפית תלת מימד -
3. **גדעון מאירי** - Founder - Non-Polymeric3D - החברה עוסקת בחומרי גלם מתכתיים וקרמיים (ceramics) לייצור חלקים מתכתיים וקרמיים במדפסות תלת מימד.
4. **איתן גרוסמן** - CTO - Noga3D Innovations - החברה עוסקת בפיתוח פולימרים וחומרים מרוכבים למדפסות 3D לשימוש בטכנולוגיות מסוימות מתוך הטכנולוגיות הרבות הקיימות בשוק להדפסת פולימרים.

הדפסת תלת מימד הוא תחום רחב שעוסק בשלושה מרכיבים עיקריים: פיתוח חומרים למדפסות, פיתוח מדפסות תלת מימד ותוכנה ייעודית.

קיימת הכשרה בסיסית בפקולטות להנדסת חומרים, כימיה, הנדסה כימית, הנדסת תוכנה, והנדסת מכונות, אלקטרוניקה, פיזיקה, אווירונאוטיקה וכו'. כל העונים ענו שנדרשת הכשרה פנים ארגונית.

אין קורסים שעוסקים ספציפית בנושא הדפסות תלת מימד. מוצע להרחיב את הקורסים בנושא פולימרים ולכלול במסגרתם גם את נושא ההדפסות - ידרשו יותר מסלולי הכשרה למומחי הדפסת תלת מימד לכאלה שאינם מהנדסים.

5. **מהי הדיסציפלינה האקדמית שבה קיבלו הכשרה המהנדסים שעובדים כיום בחברה שלך, ואיזה הכשרה נוספת נדרשת לצורך פעילות החברה בתחומי הדפסת תלת מימד?**

- הנדסה מכאנית למתכננים ומומחי הנדסה לתמיכה בלקוחות ופיתוח תכנים.
- הנדסת מכונות / תעשייה וניהול - נדרשת הכשרה פנים ארגונית לתכנון והטמעה בתלת מימד.
- מסלולי הכשרה למומחי הדפסת תלת מימד שאינם מהנדסים.
- פיזיקאים, מומחים לפיתוח חומרים, טכנאי מעבדה, שהתמחו הן בשלבי הייצור של החומרים, הן בשרטוט ותכנון חלקים בתוכנות CAD והן בשימוש בהם במדפסות תלת מימד לצרכי ניסויים ובדיקות. מנהל הפרויקט מגיע מתחום מדעי הרפואה.
- מהנדסים בתחום הכימיה, חומרים, הנדסה כימית עם דגש על הכשרה בנושא פולימרים.

6. **האם ניתנת לעובדי החברה שלך הכשרה בתחומי הדפסת תלת מימד (בתוך החברה או הכשרה חיצונית)? במידה וכן איזה הכשרה?**

- כל העונים ענו שנדרשת הכשרה פנים ארגונית:
- מגייסים כאלה שיש להם תשוקה לנושא ויש להם כבר מדפסת בבית. מהנדס מכונות שאין לו מדפסת בבית איננו רלבנטי.
- נדרשת הכשרה פנים ארגונית - בתכנון, מידול, תכן לייצור בתלת מימד.
- אנחנו מפתחים חומרי גלם להדפסת תלת מימד. בתחום פיתוח החומרים, כיוון שאנחנו מפתחים חומרים מתכתיים וקרמיים ייחודיים, שהחדשנות בהם היא היכולת להדפיסם לכדי חלקים במדפסות שמיועדות להדפסת חומרי גלם פלסטיים (חלקים מפלסטיק), למדנו את סוגי המדפסות הקיימות, את ההבדל בין מדפסות לפלסטיק ומדפסות למתכת וכו'. כיוון שאנחנו מכוונים לפיתוח ויצור של חומרים מתכתיים וקרמיים שניתן להדפיסם במדפסות לפלסטיק, התמחנו גם בתכנון חלקים שונים בתוכנות CAD ובשימוש במדפסות לחומרים

פלסטיים להדפסתם. את הידע לפיתוח החומרים מביאים כאמור שני הד"ר לפיזיקה שהם ממייסדי החברה. את הידע לתכנון בתוכנות CAD ולשימוש במדפסות 3D לפלסטיק רכשנו בלימוד עצמי של סטודנטים להנדסת חומרים שכאמור עובדים במעבדה של אחד ממייסדי החברה.

- ההכשרה היא במסגרת החברה.

7. האם קיימים צרכי הכשרת כוח אדם בתחומי הדפסת תלת מימד שאין להם כיום מענה?

התשובות דיברו על צורך בהכשרה מקיפה. בחלק של פיתוח חומרים יש הכשרה בתחומי הנדסת חומרים שניתן להפנות לתלת מימד והתנסות באקדמיה בהדפסת תלת מימד. אין קורסים שעוסקים ספציפית בנושא הדפסות תלת מימד. מוצע להרחיב את הקורסים בנושא פולימרים ולכלול במסגרתם גם את נושא ההדפסות.

מדברי העונים:

- "העולם משתנה, צריך הכשרה מקיפה. כל מי שעוסק בעיצוב מוצר או ייצור חייב להבין את המהפכה הזו. זה עולם שאין בו שינוע של מוצרים מוגמרים, שולחים קבצים במקום, זה עולם של עיצוב מותאם אישית ולא ייצור המוני. זה עולם אחר לגמרי. יקח כמה שנים ואז יהיה בום כמו עכשיו עם ה AI. זה יגיע גם להנדסה אזרחית והנדסת בניין".

- "לא בחברתנו"

- "בחלק של פיתוח חומרים קיימת הכשרה בתחומי מדעי הנדסת חומרים שיכולה להיות מופנית לכיוונים רבים ומגוונים, כולל לפיתוח חומרים להדפסת תלת מימד. כיום במעבדות שונות באקדמיה, בתחומי הנדסה, ביולוגיה ורפואה עושים שימוש בהדפסת תלת מימד לצרכים שונים כך שסטודנטים מתנסים בזה, גם אם לא דרך קורסים ייעודיים לנושא. אבל ידעתי בנושא ההכשרה בתחום מוגבלת".

- "למיטב ידיעתי אין באקדמיה קורסים העוסקים ספציפית בנושא הדפסות תלת מימד. היה רצוי להרחיב את הקורסים בנושא פולימרים ולכלול במסגרת זו גם את נושא ההדפסות".

8. האם צפוי שינוי בהכשרות שיידרשו לכוח האדם בתחום זה בעתיד הקרוב מבחינת כמות ו/או סוג הכשרה והאם נדרשת היערכות/ התאמת ההכשרות לקראת שינויים אלו?

יש צורך בהכרה מעמיקה של הטכנולוגיות וכלי התכנון

- "להכיר את הטכנולוגיות ואת כלי התכנון הקיימים. תוכנית הלימודים להנדסה חייבת לכלול הכרות מעמיקה עם הטכנולוגיות השונות. טכנולוגיית Generative Design היא טכנולוגיית AI המאפשרת להימנע מתכנון ידני והיא משולבת עם היכולות של הדפסה 3D לייצר חלקים כאלו. כיום זה במקרי קצה ובהמשך כל עולם ההנדסה יעבוד כך".

- לכל אחד מתחומים ניתן להגיע דרך לימודי תחומי ההנדסה השונים, אם זה הנדסת חומרים לפיתוח חומרים, הנדסת תוכנה לפיתוח תוכנות CAD והנדסת מכונות, אלקטרוניקה, פיזיקה, אווירונאוטיקה וכו, שיכולה להיות מיושמת בפיתוח מדפסות 3D. לגבי ההכשרה שנדרשת לשימוש בטכנולוגיה של הדפסת תלת מימד (שימוש פרקטי בטכנולוגיה הקיימת, לא פיתוח שלה), זו לדעתי בעיקר הכשרה שנעשית בעזרת הדגמה וחונכות כפי שהפרקטיקה בכלל המקצועות הטכניים נלמדת כיום.

- יידרשו יותר מסלולי הכשרה למומחי הדפסת תלת מימד לכאלה שאינם מהנדסים.

4. ערים חכמות

4.1 רקע

מרבית אוכלוסיית העולם כיום מתגוררת בערים. עד שנת 2030, צפויה האוכלוסייה בערי העולם לגדול מ-3.3 מיליארד לכ-5 מיליארד בני אדם. בישראל חיים כ-6 מיליון תושבים בישובים עירוניים.

בשל מגבלות המשאבים, תהיה בעתיד בעיה לספק לתושבים את כל השירותים. על מנת להמשיך לשרת ולשפר את רמת החיים של האוכלוסייה ההולכת וגדלה יש צורך בפיתוח ערים חכמות. עיר חכמה שואפת לניצול אופטימלי ובר-קיימא של כלל המשאבים, תוך שמירת איזון הולם בין עלויות חברתיות, סביבתיות וכלכליות. בעיר החכמה נעשה שימוש מרבי בטכנולוגיות מידע ותקשורת לשיפור התפקוד, הניהול והפיקוח על מגוון מערכות ושירותים בדגש על חיסכון באנרגיה, מים, קרקע ומשאבי טבע אחרים.

אין עדיין הגדרה בין-לאומית ברורה, אחידה ומחייבת ל"עיר חכמה". הקטגוריות המרכזיות להגדרת ערים חכמות הן: אנרגיה, איכות סביבה, מים ושפכים, תחבורה ותעבורה, מערכות מידע ותקשורת, איכות חיים, ממשל, כלכלה, משאבי אנוש, דיור ושימושי קרקע, ביטחון פנים, והיערכות לשעת חירום. יש כמובן לקחת בחשבון גם את מידת מוכנות של העיר במצב של קריסת המערכות העירוניות, בין אם הן נובעות ממצב ביטחוני או מאסונות טבע.

למונח 'עיר חכמה' יש טווח הגדרות רחב, אך עיקר התפישה מתמקדת בשימוש במידע ותקשורת ככלי להשגת מטרות חברתיות וכלכליות בעיר. זו תפישת ניהול עיר ששואפת להשיג שימוש יעיל במשאבי העיר ושליטה ובקרה על הפעילויות בעיר לטובת רווחת התושבים, איכות החיים שלהם וביטחונם, לצורך הגדלת היעילות והאפקטיביות של פעילות גופי העירייה והרשויות הפועלות בעיר, הגברת השגשוג והצמיחה הכלכלית ואיכות סביבה וקיימות.

לעיר החכמה מטרות נוספות כמו חיסכון בהוצאות, ניצול משאבים מיטבי ואספקת שירותים טובים יותר לתושבים. על אף היתרונות הרבים שגלומים בעיר החכמה, קיימים אתגרים וסיכונים לפרטיות התושבים שמתגוררים בהן.

החזון של הערים החכמות הינו של ערים, שהדיגיטציה והטכנולוגיות החדשות בהן יוטמעו על מנת לייעל את תהליכי הניהול של העיר ומערכתה, במטרה לשפר את איכות החיים של התושבים שחיים בה. ערים שבהן יותקנו מצלמות וחיישנים שונים ומגוונים- מפחי אשפה, חניות וכבישים ועד פארקים ציבוריים, שימוש במים ותאורת רחוב, שינטרו את ההרגלים והצרכים של התושבים למטרות שונות כגון: ביטחון, תחבורה, חיסכון באנרגיה ועוד. בנוסף, שירותים רבים יהפכו לאפליקציות שיאפשרו דיווח לעירייה, רישום לגנים ולבתי ספר ועוד.

מקובל למנות שלושה שלבים באבולוציה של ערים חכמות בעולם, שבעיקרם מתארים מעבר מהתרכזות בטכנולוגיה להתרכזות בתושבי הערים. הטכנולוגיה שבעבר נתפשה כלב העיסוק בעיר החכמה, נתפשת כיום כמאפשרת שיפור איכות החיים של התושבים:

עיר חכמה 1.0 (Technology Driven): ערים שמבקשות למקסם את השימוש בטכנולוגיה לטובת מינוף כלכלי והגברת יעילות ושליטה במתרחש בעיר. הובלת שינוי מסוג זה נעשתה לרוב על-ידי ספקיות ענק מעולם הטכנולוגיה והטלקום ולא הרשויות המוניציפליות.

עיר חכמה 2.0 (Technology Enabled City-Led): הובלת שינוי על-ידי הרשות המוניציפלית ויצירה של פתרונות טכנולוגיים בעיר חכמה כאמצעי לשיפור חיי התושבים.

עיר חכמה 3.0 (Citizen Co-Creation): שלב זה תופס תאוצה כיום כשערים חכמות מובילות בעולם כדוגמת וינה, ברצלונה, מדיין בקולומביה ועוד, מאמצות מודלים ליצירה משותפת עם תושביהן. מזוהר בזמנות של יצירת והטמעת פתרונות טכנולוגיים לטובת התושבים, שמתחילות מהתושבים ועולות למעלה, תוך מתן דגש לממד הקהילתי, לשוויון והכלה חברתית ולכלכלה מקומית.⁶⁴

בערים חכמות ניתן למצוא מאות מיזמים מסוגים שונים, באמצעים טכנולוגיים שונים ובנושאים שונים, החל מפרישת מצלמות וחיישנים בעיר למטרות ניטור שונות כמו תחבורה, ביטחון, חיסכון באנרגיה וקיימות, דרך אפליקציות ופלטפורמות שמטרתן לעודד תיירות או צמיחת תעסוקה מקומית ועד פלטפורמות שמטרתן לעודד שיתוף במידע עירוני, כלי רכב, ציוד וכדו'. במסגרת עבודה בנושא ערים חכמות שבוצעה ב-2018 על-ידי הרשות להגנת הפרטיות במשרד המשפטים, בוצע מיפוי של המיזמים והנושאים הרבים שבהם עוסקות ערים חכמות בעולם ובישראל שעל בסיסה הוגדרו שישה עולמות תוכן מובהקים שבהן מתמקדות ערים חכמות: חינוך, תחבורה, סביבה וקיימות, ביטחון ואבטחה, שירותים עירוניים וכלכלה. תחת כל אחד מעולמות תוכן אלה נכללות קטגוריות של תחומים רבים על בסיס מידת הנפוצות שלהם בערים מובילות בעולם: כגון חינוך, תחבורה, בטחון ואבטחה, שירותים עירוניים, כלכלה, סביבה וקיימות. בכל אחד מעולמות התוכן והתחומים שהוגדרו מאוגדים נושאים רבים כגון: תחת חינוך ניתן למצוא כיתות חכמות, מרחבי למידה וירטואליים ועוד; תחת שירותים עירוניים: כרטיס תושב חכם, תחזוקת תשתיות; תחת בטיחות ואבטחה: תאורת רחוב חכמה, אפליקציות חירום, רחפנים; תחת תחבורה: מערכות בקרת רמזורים, שיתוף כלי רכב ועוד. קצב ההתפתחות הטכנולוגית מביא למגמת שינוי והנושאים והתחומים גדלים ומתעדכנים כל הזמן.

מחקרים הראו שהמחקר והפיתוח בהקשר של ערים חכמות התמקד עד כה בטכנולוגיה יותר מאשר בצרכי התושבים.⁶⁵ תהליכי הדיגיטציה משפיעים על כל עיר בצורה שונה. השונות מושפעת מפרופיל התושבים, מצורכייהם ומאורח החיים בעיר. לכן ההטמעה של מיזמים דיגיטליים מחייבת היכרות של קובעי המדיניות ושל המתכננים עם מושגי יסוד בתחום הדיגיטלי, וכן הבנת ההזדמנויות כמו גם הסיכונים שכרוכים במהפכה הטכנולוגית.⁶⁶

הטכנולוגיות בעיר הדיגיטלית מבוססות על מערכות המזרימות מידע דרך רשת תקשורת ועל מערכות לקבלת החלטות הפועלות על פי מידע זה. טכנולוגיות עכשוויות בעיר כוללות מגוון רחב מאוד של מערכות, החל ביישומים לחיסכון במים, דרך מערכות לניהול מידע הנדסי ותכנוני וכלה ביישומים לתושבים בטלפון החכם.

המאפיין של החברות הפרטיות בתחום הטכנולוגי הוא הצורך והאינטרס להשתלב עם הטכנולוגיות אותן הן מציעות בזירה העירונית, שמתבטא בהפעלת לחצים על השלטון המקומי ליישום ולהטמעה של הטכנולוגיה שלהן. החיבור בין המגזר הפרטי לשלטון המקומי משפיע על תהליך העבודה ומעורר קונפליקטים וסוגיות מורכבות. אחד המאפיינים המרכזיים של התהליך, הוא פנייה ישירה של החברות הפרטיות לראשי רשויות במטרה לקדם את האינטרס העסקי שלהן. לרוב החברות כגופים מסחריים מעוניינות לקדם פרויקטים בעיר. המעורבות של חברות פרטיות בחזון היא מודל עבודה חדש עבור העיר, שעד היום הגדירה את החזון בעצמה באמצעות אנשי מקצוע שבחנו את האינטרס הציבורי, ולא באמצעות חברות פרטיות שיש להן אינטרס מסחרי.

בכל הערים ניכר חוסר המוכנות לעידן הדיגיטלי. במקרים רבים היוזמות מגיעות מהחברות הפרטיות, והדמויות המובילות את סדר היום הם ראש העירייה, המנמ"ר (מנהל מערכות מידע ראשי) וראשי אגפים רלוונטיים. מעט רשויות הקימו צוות ייעודי לבחינה הוליסטית ורוחבית של המיזמים הדיגיטליים,

⁶⁴ הרשות להגנת הפרטיות במשרד המשפטים. (2018). מדייק הגנת הפרטיות לעיר החכמה.

⁶⁵ ובר, מ.א. (2018). ערים חכמות הופכות אשפה למשאב. הידיען.

⁶⁶ חתוקה, ט., טוד, ע., בירנהק, מ., צור, ה. (2018). העיר בעידן הדיגיטלי: תכנון, טכנולוגיה, פרטיות ואי שיוויון. אוניברסיטת תל אביב

הכולל אנשי מקצוע אשר עשויים להעריך את ההשפעה של המייזמים על העיר מפרספקטיבה כלכלית, תכנונית וחברתית. תהליכי דיגיטציה יוצרים הזדמנויות רבות ומגוונות, אולם רשויות רבות מתקשות לתעדף ביניהן. התעדוף של הפרויקטים הדיגיטליים מושפע משלושה ממדים עיקריים: הגדרת מטרות, תקציב וסיכון כלכלי-חברתי וקנה המידה של הפרויקט. ערים רבות מנסות פרויקטים בקנה מידה קטן, אך מתקשות ליישם אותם בקנה מידה עירוני.

4.2 תוכניות לפיתוח תחום ערים חכמות בישראל

מדינת ישראל קבעה יעד לפיו כל רשות מקומית בישראל תהיה "חכמה" ובעלת תשתיות לפלטפורמות דיגיטליות, בין אם היא עיר, מועצה מקומית או מועצה אזורית. טכנולוגיות רבות מתחילות להיות מיושמות בערים במדינת ישראל. בשנים האחרונות קיימים יותר ויותר מייזמים בתחום ערים חכמות שנכנסים לערים בישראל (תל אביב יפו, ירושלים, חיפה, רמת גן, ראשן לציון, כפר סבא, אשדוד, אילת ועוד). בהמשך למגמת צמיחה זו, החליטה הממשלה על קידום התפישה של עיר חכמה והטילה את הובלת התחום בהיבט הדיגיטלי על המשרד לשוויון חברתי וישראל דיגיטלית ועל משרד הפנים (החלטת ממשלה 2733 מה-11.6.2017). ב-2018, משרד הכלכלה, משרד הפנים והמשרד לשוויון חברתי, בשיתוף אוניברסיטת ת"א, קריית עתידים ומרכז פרס לשלום ולחדשנות, יצאו עם תוכנית לאומית חדשה לקידום טכנולוגיות בתחום ערים חכמות. 'CITYZOOM ערים חכמות בישראל'.

CITYZOOM קמה בהמשך לקהילות נוספות שקמו שהיוו סיפורי הצלחה כמו 'אקומושן' (תחבורה חכמה) וקהילת טכנולוגיות בנייה. ייחודה של התוכנית שלראשונה נעשה שילוב בין מגזרי (ממשלה, אקדמיה, חברות טכנולוגיה ומגזר שלישי) עם מדיניות ברורה שתביא ליצירת אקלים תוסס לערים חכמות בישראל. קהילה שתנגיש לרשויות בישראל ובעולם חברות סטארטאפ שיכולות לפתור בעיות במרחב העירוני. למרות התוכנית וההשקעות נראה כי הפרויקט של יישום ערים חכמות בישראל גווע ולא ניתן היה למצוא נתונים על פעילותו בשלוש השנים האחרונות.

תחום ערים חכמות בישראל עדיין לא מימש את הפוטנציאל הגלום בו. הסיבות נעוצות בעובדה כי הרשויות המקומיות בישראל מהוות שוק קטן מדי ליזמי טכנולוגיה, אך גם בשל ריבוי הרשויות המקומיות והקושי ליישם מדיניות ארוכת טווח בנושאים מוניציפאליים הקשורים למשרדי ממשלה רבים. חוסר נגישות ועודף בירוקרטיה מביאים לכך שטכנולוגיות "בורחות" מישראל. שינוי תקנות הבנייה והשקעה בעילות אנרגטית הם למשל שתי דרכי פעולה שראשי ערים רבים אמרו שביכולתם ליישם מהר יותר מהממשלות הלאומיות.

אוניברסיטת ת"א חנכה את יוזמת ערים חכמות בשיתוף אוניברסיטת סטנפורד ואת מכון שמלצר לתחבורה חכמה.

פורום ערים חכמות הוקם באוניברסיטת תל אביב במטרה לבחון את ההיבטים השונים, הטכנולוגיים והחברתיים, של ערים חכמות. הפורום מהווה מוקד של מחקר וחוקרים באוניברסיטה העוסקים בנושאים אלו במגזר האזרחי, הפרטי והציבורי. הפורום הוא חלק מהפעילות בנושאי העיר שקיימת באוניברסיטת תל אביב: מרכז העיר—המרכז לחקר ערים ועירוניות, המכון לשלטון מקומי והמכון לתחבורה חכמה על שם שמלצר. הפורום מתכנס כשלוש עד ארבע פעמים בשנה, כאשר בכל פגישה הדיון מתמקד בהיבט מסוים של ערים חכמות ובסוף כל מפגש מפורסם נייר עמדה.

המיזם הלאומי 265 לפיתוח ושיתוף ידע לקידום דיגיטציה ברשויות המקומיות - המיזם מתבצע בשיתוף פעולה של משרד הפנים באמצעות מפעם עמק יזרעאל והמשרד לשוויון חברתי - מטה ישראל דיגיטלית. מטרת המיזם להרחיב ולהנגיש שירותים דיגיטליים לתושבי הרשויות המקומיות ולצמצם פערים בין הרשויות המקומיות באמצעות כלים דיגיטליים. המיזם עוסק בהקמת

מערך תשתיתי, מקצועי ואובייקטיבי (ממלכתי, ללא כוונות רווח), המספק לרשויות המקומיות תשתית ידע, פלטפורמה להיוועצות ותמיכה בתהליך הטרנספורמציה הדיגיטלית, ומסייע להן בפיתוח וקידום השירות הדיגיטלי לתושב. הצירים המרכזיים של הפרויקט הם: מתווים מקצועיים, שיתוף בידע, מאגר פרויקטים ברשויות, מדריך לערים חכמות. העקרונות עליהם מתבסס הפרויקט הינם: דיאלוג ושיתוף מלא של הרשויות, שיתוף בידע וסיוע הדדי בין רשויות, מתן כלים אופרטיביים להובלת תהליכים לקידום הדיגיטציה ותהליכי הדרכה והטמעה ברשויות.

מדד הבינתחומי לערים חכמות ומקיימות בישראל - המרכז הבינתחומי הרצליה, בהובלת בית הספר לקיימות, פיתח כלי מדידה ישראלי ראשון לערים חכמות ומקיימות, אשר מאפשר להעריך את העשייה העירונית הישראלית בתחום ערים חכמות. מטרת המדד לאפשר לרשויות ולתושבים להעריך את מידת התקדמותן בהיבטים של חדשנות עירונית, קיימות, ממשל פתוח ושיתופי, חינוך ופיתוח כלכלי ועוד. המדד הוא מהבודדים בעולם שבוחן את השילוב של ניהול, אסטרטגיה וקיימות עירונית תוך בחינת התאמתן של ערים לעולם של חדשנות וטכנולוגיה והתייחסות ליעדי הפיתוח הגלובליים של האו"ם. עפ"י נתוני המדד: תל אביב נמצאת במקום הראשון במדד הבינתחומי לערים חכמות ומקיימות. מיד אחריה, אילת וירושלים, כששתייהן ציון זהה. אחריהן בערים המובילות הגיעו אשדוד, רעננה, נתניה ובאר שבע. המדד בנוי כתהליך סדור, החל מאסטרטגיה (מה אנחנו רוצים לפתור ואיך), דרך ניהול (באיזה כלים נשתמש על מנת לספק מענה לאתגרים ואיך נוודא שזה קורה) וכלה בפעולות עצמן (בתחומי תשתיות, שירותים וקיימות מרחבית).

המדד הדיגיטלי של הרשות המקומית – מדד"ם - המדד"ם הוא כלי המודד את רמת הבגרות הדיגיטלית של רשות מקומית. כלומר, את המוכנות הארגונית ואת רמת השימוש וההטמעה של טכנולוגיות דיגיטליות בתהליכים הארגוניים, הפנימיים והחיצוניים, של הרשות מול כל סוגי לקוחותיה: תושבים, בעלי עסקים, תיירים ועוד. המדד מאפשר לכל רשות לבחון את מצבה העכשווי על פני ציר מדידה אחיד, יחסית לעצמה וכן יחסית לרשויות מקומיות אחרות - וכן להכיר ולהבין את השלבים הנדרשים ממנה להתקדמות דיגיטלית⁶⁷.

המדד כלל קבוצה של ערים, הפעילות בתחום "ערים חכמות", אשר העמידו עצמן למדידה, על מנת לקבל הערכה ומשוב.

צוותי בלומברג i-teams - צוות חדשנות עירונית ירושלים שנוסד וממומן על ידי קרן בלומברג משמש כצוות ייעוץ-מחקר עבור ראש העיר ירושלים ופועל לפתרון סוגיות עירוניות מורכבות בתחומים שנבחרו: נוער בסיכון, עידוד הזדמנויות עסקיות, מרחב ציבורי יצירתי, חינוך ובניית קהילות פעילות. לצוות מעמד היברידי פנימי-חיצוני אשר עוזר לו להתגבר על חסמים ביורוקרטיים ולגשר בין אגפים וארגונים לטובת הכלל. עבודת הצוות מבוססת על מחקר ונתונים, בניית תהליכים קצרים בעלי השפעה מרבית וחדשנות בתוך הקיים. הצוות עובד לשינוי הדרך שבה נבנים תהליכי חשיבה ותכנון חדשניים בעבודה השוטפת של העירייה בכל הרמות. הרשת הבינלאומית של צוותי החדשנות של בלומברג, המונה 25 צוותים ברחבי העולם, מאפשרת ללמוד מהצלחות וכישלונות בערים אחרות ולהתוודע לנעשה בצוותים אחרים בעולם. במסגרת הקרן, עיריית באר שבע קיבלה מימון בסך 500,000 דולר לכל שנה במשך שנתיים, על מנת לגייס צוותי חדשנות שיעבדו בשיתוף עם אגפי ויחידות העירייה.

⁶⁷ <https://www.265.org.il/database/%d7%94%d7%9e%d7%93%d7%93-%d7%94%d7%93%d7%99%d7%92%d7%99%d7%98%d7%9c%d7%99-%d7%a9%d7%9c-%d7%94%d7%a8%d7%a9%d7%95%d7%aa-%d7%94%d7%9e%d7%a7%d7%95%d7%9e%d7%99%d7%aa-%d7%9e%d7%93%d7%a8%d7%9d/>

4.3 הכשרת כוח אדם לעבודה בתחום ערים חכמות

תוכנית "מאיצים דיגיטליים בשלטון המקומי" – התוכנית נועדה לקידום הדיגיטציה ברשויות המקומיות בישראל, ומתקיימת בשיתוף פעולה בין מטה ישראל דיגיטלית במשרד לשוויון חברתי ומשרד הפנים באמצעות מפעם עמק יזרעאל. מטרת התוכנית הינה הכשרה של מובילי שינוי המקדמים חדשנות דיגיטלית ברשויות המקומיות, משפרים תהליכי עבודה ושירותים באמצעות טכנולוגיה, ומהווים חלק מקהילה היוצרת את תהליך הטרנספורמציה הדיגיטלית בישראל. קול קורא לרשויות המקומיות⁶⁸.

תנאי סף להשתתפות בהכשרה הינו הגשת מועמדות קבוצתית בלבד (צוות המונה שני נציגים או שלושה מאותה רשות) מקרב עובדי השלטון המקומי. על הרשות להקים ועדת היגוי לליווי ופיתוח התחום הדיגיטלי לאחר קבלת המועמדים לתוכנית.

באוניברסיטת תל אביב – קורס ערים חכמות – הקורס ניתן במסגרת פעילות המרכז לחקר העיר והעירוניות באוניברסיטת תל אביב, "מרכז העיר". הקורס ניתן לראשונה ב-2018 ויערך שוב בקיץ 2019 ומיועד לסטודנטים מחו"ל, אך פתוח גם לסטודנטים מאוניברסיטת תל אביב⁶⁹.

באוניברסיטת בר אילן – הקורס פתוח לסטודנטים לתואר ראשון החל משנה ב' ולסטודנטים לתארים מתקדמים בבית הספר למנהל עסקים. מטרת הקורס היא להקנות לסטודנטים ידע, הכרות וכלים לבחינה של מורכבויות ואתגרי העיר במאה ה-21 בעולם המפותח והמתפתח כאחד, וזאת תוך בחינה ביקורתית של המרכיבים, הכלים והמאפיינים של ערים חכמות, ותוך התנסות מבוקרת של איתור לוקאלי של אתגרים, בעיות והצעות למענה בהתאם לסוגי ומאפייני עיור מגוונים. הקורס נערך במתכונת של סדנה, הכוללת הרצאות נושאיות, דיון ביקורתי והצגת מקרי מבחן. כמו כן קיים קורס המשך שבמרכזו אפיון ופיתוח מתקדמים של מיזמים בערים והישובים במרחב.

4.4 חברות בתחום ערים חכמות בישראל

נכון לחודש 3/2023, היו בישראל 274 חברות שתויגו במאגר ה-Startup Nation⁷⁰ Central Finder תגית Smart cities. החל מ-2014 החל גידול במספר החברות החדשות המוקמות בתחום מידי שנה ומידי שנה קמות כ-20 חברות במוצע.

השיעור הגדול ביותר של החברות שעוסקות בנושא ערים חכמות בישראל, עוסקות בחמישה תחומים עיקריים: Smart Mobility (37%); Climate Tech (29%); Industrial Technologies (23%); Security Technologies (21%); Energy-tech (14%).

רוב החברות 83%, הן חברות קטנות שיש בהן עד 50 עובדים (ב-46% מהחברות עובדים עד עשרה עובדים). 12% מהחברות בינוניות ומונות בין 51 ל-200 עובדים ורק 4% הן חברות גדולות המעסיקות למעלה מ-200 עובדים. נתונים אלה מחזקים את העובדה כי זהו תחום מתפתח ורוב החברות הן בתחילת הדרך.

מטבע הדברים חלק גדול מהחברות נמצא בשלבים התחלתיים. בהסתכלות על התפלגות החברות לפי Funding Stage מבחינת שלב המימון: 63% מהחברות בתחום נמצאות בשלבים ההתחלתיים של Pre-Seed; pre-Funding; ו-Seed. 23% נמצאים בסבבי גיוס שונים G-A. 15% מהחברות הן חברות Mature או Public – דבר שיכול להצביע גם על קיומן של חברות בוגרות יותר.

⁶⁸ <https://www.meitzimdigitalim.com/kolkore>

⁶⁹ https://urban.tau.ac.il/sites/urban.tau.ac.il/files/TAU-SmartCities-SummerCourse-2019-Description_0.pdf

⁷⁰ קישור לאתר: <https://finder.startupnationcentral.org>

4.5 תחומי תואר/ ידע בסיסי רלבנטיים בתחום ערים חכמות

במסגרת העבודה הנוכחית נשלח שאלון לבחינת צרכי הכשרות LLL בחברות בתחום ערים חכמות⁷¹ (סיכום ממצאי השאלון מופיע בנספח לחלק זה). ממצאי המענה לשאלון שולבו בחלק זה יחד עם ממצאים בנוגע לצרכי הכשרת כ"א בתעשייה בתחום ערים חכמות, שעלו בראיונות עם מומחים בתחום⁷² ושאלונים שהופצו בעבודות קודמות שבוצעו ע"י מוסד שמואל נאמן⁷³.

את תחום הידע הנדרש בערים חכמות יש לחלק לשניים. ראשית, התחום הטכנולוגי, כלומר המוצרים והטכנולוגיה שמתאימה לעיר והופכת אותה חכמה (מצלמות, סנסורים, מערכות מים ותשתיות חכמות, מערכות חינוך, כלים ומערכות לפיתוח תחבורה חכמה/שיתופית וכד') ושנית אנשי מקצוע בעלי ראייה רחבה.. כפי שנסקר בהקדמה הטכנולוגיה של ערים חכמות היא רחבה ונוגעת כמעט בכל תחומי החיים. מסקר שהופץ במסגרת המחקר לחברות מתחום ערים חכמות, נדרש כוח אדם מהתחומים הטכנולוגיים המכוסים עלי הדיסציפלינות הבאות:

- הנדסת חשמל
- הנדסת בקרה
- הנדסת אלקטרוניקה
- הנדסת תוכנה
- הנדסת תנועה
- הנדסה אזרחית מומחיות בגיאוגרפיה
- מדעי המחשב
- הנדסת תעשייה וניהול
- מתכנתים מפתחי FULL STACK (עובדים שעשו הסבה לאו דווקא עם תואר); מתמטיקה שימושית
- ארכיטקטורה
- הנדסה אזרחית
- הנדסת מערכות
- מתכנתים
- רוב התחומים הם תחומי יסוד ונדרשת השתלמות והכשרה נוספת כדי להתאים לצרכים של עיר חכמה.

נדבך נוסף של כוח אדם הנדרש לתחום ערים חכמות הם אנשים בעלי ראייה רחבה ומערכתית, אנשים שמצד אחד, יבינו את צרכי החדשנות יכירו ויתעדכנו אחרי ההתפתחויות הטכנולוגיות והאפשרויות

⁷¹ רשימת העונים לשאלון LLL בתחום ערים חכמות: דוד גילה - YSBGROUP; יונתן בן דוד - Axilion Smart Mobility; אלדר שניידרמן - Aura Smart Air; יונתן אביר - AD Knight; קרינה אודיטאב - Cortica; דוד סולומון - Aquarius Spectrum; יאיר פולג - Ayyeka Technologies

⁷² רשימת המומחים בתחום אותם ראינו הם: עוז שנהב- מנהל מחלקת חדשנות ופיתוח מדיניות ברשות להגנת הפרטיות במשרד המשפטים. פרופי פנינה פלאוט ורפי רייש- מנכ"ל Suits

⁷³ גן דפנה, בוכניק ציפי, גלעד ורד, ברזני אלה, רווה איילת. תחזיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי דו"ח סופי – שנה ד' חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2021. <https://www.neaman.org.il/Technological-forecasting>

לעיר ומצד שני ילמדו את צרכי התושבים, צרכי העיר, מגבלות התקציב וידעו לבנות אסטרטגיה מתאימה תחת האילוצים ואי הוודאות.

לשם כך יש צורך באנשים בעלי הכשרה כגון: מנהלי מערכות מידע, ואנשי חדשנות בעלי ראייה רחבה היכולים לבוא מדיסציפלינות שונות כגון: עורכי דין, כלכלנים, תעשייה וניהול, ארכיטקטורה ובינוי ערים, הנדסה אזרחית וכדומה.

זווית ראייה נוספת עליה יש להתייחס היא העובדה כי הטמעת הטכנולוגיות השונות יצרה מאגרי מידע גדולים Big data, הכוללים נתונים שונים ומגוונים. יש צורך ליצור חיבור/ממשק בין הטכנולוגיה והמידע שהוא מייצר לבין האפשרויות וצרכי היישום שיכולים לתרום לעיר חכמה ולפיתוח מוצרים ושירותים חדשים בתחום. לשם כך, יש צורך במנתחי נתונים (data analysts) עם רקע של תכנון עירוני וערים חכמות.

4.6 מצב קיים - הכשרות LLL בתחום ערים חכמות

במיפוי שערכנו בחלק א' של עבודה זו נמצאה הכשרת LLL אחת לתחום ערים חכמות, שעונה על הקריטריונים שנקבעו למחקר זה:

קורס תכנון תחבורה ציבורית - בית ספר ללימודי המשך מתקדמים בטכניון - קדם-תשתיות.

התוכנית מיועדת לבעלי תואר ראשון מוכר ע"י המל"ג (ממוצע 75 ומעלה) והעוסקים בתחום רלוונטי (הנדסה, אדריכלות, מדעי החברה, מדעים מדויקים או בתחומים משיקים).

בשנים האחרונות חלה התפתחות משמעותית בתחום התחבורה הציבורית בישראל, ועל הפרק מתוכננים ומבוצעים מספר מגה פרויקטים כולל רכבות קלות, מטרו וכבדות במטרופולין גוש דן וירושלים, מערכות BRT בירושלים ובשפלה, חיפה והצפון, ותכנית אגרות גודש. כמו כן מתבצע תכנון מחדש של רשת קווי האוטובוסים, הפעלה של נתיבי ומסלולי תחבורה ציבורית, הקמה של מרכזי תחבורה עתירי נוסעים, שירותי תחבורה ציבורית גמישים ועוד. למרות זאת, בישראל לא הייתה קיימת תשתית הכשרה וידע בתחום – תוכנית זו מיועדת לאנשי ונשות מקצוע בתחום התחבורה הציבורית, או שתפקידם מתממשק לתחום שתעניק את הידע והכלים החשובים ביותר בתחומים אלה. מטרת התוכנית היא לעשות upskilling לאנשים מהתחום.

המסלול הינו בשיתוף משרד התחבורה והבטיחות בדרכים, הרשות הארצית לתחבורה ציבורית ונתיבי איילון. הרשות הארצית לתחבורה ציבורית וחברת נתיבי איילון מעניקים מלגות בגובה 80% משכר הלימוד.

התוכנית הינה תוכנית לימודים מובנית ומתפרסת על פני כשנה וכוללת לימודים במהלך סמסטר קיץ. התוכנית משלבת מרצים מהפקולטות להנדסה אזרחית וסביבתית, ולארכיטקטורה ובינוי ערים בטכניון ומרצים נלווים מהתעשייה, בליווי אגף בכיר תכנון תחבורה ציבורית במשרד התחבורה.

מהשאלון שהופץ בעבודה זו עולה **כי קיים שוני בין הכשרות הניתנות במקומות העבודה בנושאי ערים חכמות:**

- ההכשרה בתחום ניתנת בתוך החברה בהתאם לחידושים הטכנולוגיים בנושא.
- חברות שאין להם הכשרה ייעודית בתחום והעובדים הם מרקעם שונים כגון: מורה לאנגלית, עורך דין או מהנדס ועשו הסבה. ובמידה ויש צורך ההכשרה ניתנת במסגרת העבודה, החברה עושה מחנות BOOTCAMP במשך חודשיים-שלושה ועוד חודשיים התמחות כשמגיעים לעבוד בחברה.

- חברות שמגייסות עובדים עם ניסיון בתחום – ללא צורך בהכשרה. וניתנת הכשרה חיצונית על ידי חברת סלע בתחום הפייטון (במידת הצורך).

4.7 צרכי התעשייה להכשרות LLL בתחום ערים חכמות

מסקר שהופץ במסגרת המחקר לחברות מתחום ערים חכמות עלה החוסר והצרכים הבאים:

- בוגרי האוניברסיטאות מגיעים בלי ידע מספק בתחום. העובדים לומדים באופן עצמאי, לוקחים קורסים שונים או שלומדים דרך CORSERA
- הכשרה נדרשת שחסרה היום היא בעיקר בתחום הבקרה בהיבט של תשתיות עירוניות, משמעויות סייבר בהקשר הזה וכו'.
- סוגיית הדאטה, מהנדסים שהם מנתחי מידע בהכשרתם שידעו לענות על השאלות כגון: איך מייצרים תובנות עבור ערים חכמות מתוך הדאטה. איך מתכנת מייצר מתוך הדאטה, תובנות בעלות משמעות ללקוח הקצה – לעירייה לדוגמא. איך מנגישים את המידע ללקוח.
- למהנדסים שעובדים בתחום מול עיריות, חסר מידע והכשרה בנושא עבודה מול עיריות.
- הכשרה שיכולה להיות רלוונטית היא בנושא GIS – GEO INFORMATION
- ההכשרה הנוספת שלא ניתנת כיום וחסרה, היא בתחום ה-DEEP LEARNING בהקשר של עיר חכמה.

יש לציין כי לשאלה: האם קיימים צורכי הכשרת כוח אדם בתחומי ערים חכמות שאין להם כיום מענה, 70% (5 מתוך 7 עונים) ענו כי לא קיימים צרכים שהם מודעים להם.

צרכי התעשייה העתידיים כפי שעלו מהסקר היו:

- לא נדרשת הכשרה ייעודית לנושא ערים חכמות, רק הנגשה של הדאטה ללקוחות.
- חשוב שכל המתכנתים, מהנדסים שעובדים בתחום, יקבלו הכשרה בשפת פייטון, זו שפת התכנות הנדרשת ל-AI כיום.
- נושא הסנסורים הינו נושא שייכנס בעתיד לתחום הערים החכמות, חשוב שתהיה היערכות בהתאמת ההכשרות להתפתחות הטכנולוגית בתחום. שהעוסקים בתחום יקבלו באופן שוטף מידע עדכני על הטכנולוגיות החדשות בתחום.
- מאחר והתחום מתעדכן לעיתים קרובות, רצוי שגורמים ממשלתיים או מכון הייצוא, או גופים אקדמיים יספקו סקירה כללית עדכנית בתחום מבחינה טכנולוגית ועסקית. מיקרוסופט ניסו לארגן ימי עיון בתחום, אבל אלה התרכזו במוצרים שלהם.

4.8 מסקנות ותובנות לגבי צורכי כוח אדם לתחום ערים חכמות

החזון של הערים החכמות הינו ערים, שהדיגיטציה והטכנולוגיות החדשות בהן יוטמעו על מנת לייעל את תהליכי הניהול של העיר ומערכותיה, במטרה לשפר את איכות החיים של התושבים שחיים בהן. ישנם יתרונות רבים מבחינת התועלת הלאומית בקידום ערים חכמות: יצירת תחרותיות, קידום המגזר העסקי, שיפור רמת החיים, שמירה על איכות הסביבה, ניצול נכון של משאבים וכדומה. קיימות דוגמאות לערים חכמות בעולם, וניתן ללמוד רבות מניסיוןן ומהישגיהן. בישראל קיימים תנאים ייחודיים, הכוללים: אוכלוסייה משכילה, שימוש נרחב במערכות מידע וערים שאינן גדולות מאוד. עם זאת, בישראל ישנם גם אתגרים לא פשוטים, כגון מחסור חמור בקרקע, מצב ביטחוני בעייתי וריכוזיות יתר. להלן התובנות העיקריות שעלו מהעבודה לגבי הכשרות LLL וכוח אדם נדרש לקידום והתפתחות תחום הערים החכמות בישראל:

- החשיבה האסטרטגית העירונית לעיר חכמה בערים רבות לוקה בחסר ואין מספיק כוח אדם בעל הכישורים המתאימים בתכנון אסטרטגי העירוני השותפים לתהליכי קבלת החלטות.
- עיריות שונות מעוניינות לקחת חלק ולהיחשב לערים חכמות, אך חסרה להן ההבנה איזה שינויים ומהלכים עליהן לעשות על מנת להתמודד עם אתגרי המאה ה-21 שהם בעיקר: אי ודאות ניהולית, משבר תשתיות, משבר דיור וכו'. יש לשנות את התפיסה שמגדירה עיר חכמה כעיר בעלת טכנולוגיה מתקדמת לתפיסה שעיר חכמה זו תפיסה אסטרטגית וניהולית אחרת המבוססת על טכנולוגיות חדשות.
- הגופים שעוסקים כיום ביישום ערים חכמות הן חברות שעוסקות בפיתוח מערכות טכנולוגיות. ככאלה יש להן אינטרס עסקי להטמיע את הטכנולוגיה שלהם בערים ולא חשיבה על הצרכים והאמצעים הכלכליים של העיר.
- הטמעת מערכות טכנולוגיות יוצרת דרישה למשאבים וכוח אדם. לדוגמא, בעיריות שהתקינו מצלמות בעיר או אפליקציה לדיווח תקלות יש צורך בכ"א שיסתכל במצלמות, יקבל את הדיווחים ויגיב בהתאם. כיום, כמעט ולא קיימת הגדרת תפקיד או חשיבה לטיפול ומענה במידע המתקבל ונצבר.
- הטמעת הטכנולוגיות השונות יצרה מאגרי מידע רגישים הכוללים מידע על התושבים והעיר ולכן לעיריות יש צורך בתפקיד שלא קיים כיום של קצין אבטחת מידע. יש מעט עיריות שקבעו מדיניות אבטחת מידע ובפועל יש הרבה אתגרים ובעיות בתחום זה.
- על מנת שעיר תוכל להיות עיר חכמה היא צריכה מנמ"ר (מנהל מערכות מידע) ואיש חדשנות שבדק לאן העיר רוצה להתפתח, לאן העולם הולך ולקבוע מדיניות.
- יש צורך לייצר צוותי חדשנות ברשויות המקומיות, שינהלו את תהליכי החדשנות בכל עירייה. יש כיום הכשרה של קרן בלומברג, שמכשירה צוותי חדשנות ייעודיים שפועלים בכפוף לראש העיר. תפקיד הצוות לטפל באתגרים עירוניים, בד"כ רב מחלקתיים ולייצר להם תהליכי עבודה ופתרונות. כיום יש צוותים כאלה בת"א, ירושלים ובאר שבע. הבעיה היא דווקא ברשויות קטנות שבהן יש אתגרים גדולים אך משאבים מצומצמים. יש צורך בצוות כזה בכל רשות, גם אם הוא מורכב מאדם אחד שמנהל את החדשנות העירונית וידע לחשוב לא רק על הרובד הטכנולוגי אלא גם על הרובד העירוני.
- הטמעת הטכנולוגיות השונות יצרה מאגרי מידע גדולים Big data, הכוללים נתונים שונים ומגוונים. חסר החיבור/הממשק בין הטכנולוגיה והמידע שהוא מייצר לבין האפשרויות וצרכי היישום. נתונים של תחום אחד יכולים לשמש לתחום אחר או לקבלת החלטות. הטיפול בנתונים הוא תחום שאינו מוסדר כלל. המדינה מטפלת בנושא בהיבט המשפטי אבל יש צורך לטפל בזה גם בהיבט הציבורי.
- פרט לקורס אחד בטכניון בנושא קורס תכנון תחבורה ציבורית וההכשרות של קרן בלומברג אין הכשרות בתחום ערים חכמות.
- תחום ערים חכמות הוא תחום רחב המאגד תחתיו מגוון נושאים וטכנולוגיות: בינה מלאכותית, סנסורים, AI, Big Data, IOT וכד' – הכשרות בנושאים אלה אנו דנים בהם בתחומים עצמם. הצורך כפי שעולה מעבודה זו הוא באנשים שמצד אחד יש להם חשיבה אסטרטגית עירונית ומצד שני את הידע עם המגוון ועם האפשרויות של הטכנולוגיות המתאימות לעיר חכמה.
- ההכשרה כיום היא בעיקר למסלולים דיגיטליים של הנושא, ומתמקדת בטכנולוגיה. יש צורך גם בהכשרה נוספת כפי שפורטה לעיל. ההכשרה יכולה להתקיים בפקולטות: תכנון ערים, תעשייה וניהול או מנהל עסקים והיא צריכה לכלול: תפישה מערכתית ואסטרטגית של עיר חכמה, קיימות ותכנון, מדיניות ציבורית ויזמות וחדשנות. יש צורך בפתיחת תוכניות מולטי-דיסציפלינריות בנושא ערים חכמות.

4.9 נספחים

4.9.1 נספח א- ניתוח תשובות לשאלון בתחום ערים חכמות

העונים:

1. **דויד גילה** - SBGROUP, סמנכ"ל פיתוח עסקי (מהנדס כימיה לשעבר)
2. **יונתן בן דוד** - Axilion Smart Mobility, סמנכ"ל פיתוח
3. **אלדר שניידרמן** - Aura Smart Air, סמנכ"ל טכנולוגיות
4. **יונתן אביר** - CEO, AD Knight
5. **קרינה אודינאב** - CEO, Cortica
6. **דוד סולומון** - Aquarius Spectrum Founder & CTO

שאלה 1 - מהי הדיסציפלינה האקדמית שבה קיבלו הכשרה המהנדסים שעובדים כיום בחברה שלך, ואיזה הכשרה נוספת נדרשת לצורך פעילות החברה בתחומי ערים חכמות?

- הנדסת חשמל
- הנדסת בקרה
- הנדסת תוכנה
- הנדסת תנועה
- הנדסה אזרחית מומחיות בגיאוגרפיה
- מדעי המחשב
- הנדסת תעשייה וניהול
- מתכנתים מפתחי FULL STACK (עובדים שעשו הסבה לאו דווקא עם תואר); מתמטיקה שימושית
- מתכנתים (בעלי תאר אקדמי במדעי המחשב / ללא תואר אקדמי, בוגרי קורסים שונים. קיים פער בין המתכנתים בעלי הרקע האקדמי למתכנתים ללא רקע כזה. חסר להם ידע בתחום ה-DATA SCIENCE. עקב אכילס זה נושא השכר, יש לשלם שכר הרבה יותר גבוה למתכנתים עם תואר אקדמי).

שאלה 2 - האם ניתנת לעובדי החברה שלך הכשרה בתחומי ערים חכמות (בתוך החברה או הכשרה חיצונית)? במידה וכן איזה הכשרה?

- ההכשרה בתחומי ערים חכמות ניתנת בתוך החברה בהתאם לחידושים הטכנולוגיים בנושא.
- אין הכשרה ייעודית בתחום. מגיעים אלינו עובדים שעשו הסבה, בין אם זה מורה לאנגלית, עורך דין או מהנדס. אנחנו עושים מחנות BOOTCAMP במשך חודשיים-שלושה ועוד חודשיים התמחות כשמגיעים לעבוד בחברה.
- לא ניתנות הכשרות, החברה מגייסת עובדים שכבר מגיעים עם ניסיון בתחום.
- ניתנה הכשרה חיצונית על ידי חברת סלע בתחום הפייטון
- **שאלה 3 - האם קיימים צורכי הכשרת כוח אדם בתחומי ערים חכמות שאין להם כיום מענה?**

- ההכשרה הנוספת היא בעיקר בתחום הבקרה בהיבט של תשתיות עירוניות, משמעויות סייבר בהקשר הזה וכו'.
- כן, סוגיית הדאטה, איך מייצרים תובנות עבור ערים חכמות מתוך הדאטה. איך מתכנת מייצר מתוך הדאטה, תובנות בעלות משמעות ללקוח הקצה – לעירייה לדוגמא. איך מנגישים את המידע ללקוח. כמו כן, מאחר והעובדים בתחום עובדים מול עיריות, חסר להם מידע והכשרה בנושא עבודה מול עיריות.
- כן, הכשרה שיכולה להיות רלוונטית היא בנושא GIS – GEO INFORMATION- כמו כן, מאחר והתחום מתעדכן לעיתים קרובות, רצוי שאולי גורמים ממשלתיים או מכון הייצוא, או גופים אקדמיים יספקו סקירה כללית עדכנית בתחום מבחינה טכנולוגית ועסקית. מיקרוסופט ניסו לארגן ימי עיון בתחום, אבל נועד בעיקר כדי למכור את המוצרים שלהם.
- ההכשרה הנוספת שלא ניתנת כיום וחסרה, היא בתחום ה-DEEP LEARNING בוגרי האוניברסיטאות מגיעים בלי ידע מספק בתחום. העובדים לומדים באופן עצמאי, לוקחים קורסים שונים או שלומדים דרך CORSERA.

שאלה 4 - האם צפוי שינוי בהכשרות שיידרשו לכוח האדם בתחום זה בעתיד הקרוב מבחינת כמות ו/או סוג הכשרה והאם נדרשת היערכות/ התאמת ההכשרות לקראת שינויים אלו?

- לא נדרשת הכשרה ייעודית לנושא ערים חכמות, רק הנגשה של הדאטה ללקוחות.
- חשוב שכל המתכנתים, מהנדסים שעובדים בתחום, יקבלו הכשרה בשפת הפייטון, זו שפת התכנות הנדרשת ב-AI כיום.
- נושא הסנסורים הינו נושא שייכנס בעתיד לתחום הערים החכמות, חשוב שתהיה היערכות בהתאמת ההכשרות להתפתחות הטכנולוגית בתחום. שהעוסקים בתחום יקבלו באופן שוטף מידע עדכני על הטכנולוגיות החדשות בתחום.

5. פוטוניקה ופוטוניקה משולבת

5.1 רקע

פוטוניקה הוא ענף באופטיקה העוסק ביצירה, הגברה, העברה, גילוי, אפנון ועיבוד של חלקיקי אור - פוטונים. התחום מכסה את כל היישומים הטכנולוגיים של האור לכל אורך התחום הספקטראלי. מערכות פוטוניות נמצאות ומשרתות את רוב התחומים בהם נוגעים חיינו לרבות בטחון, רפואה, חקלאות, מחשוב, תחבורה, בידור, ניווט, חיזוי מזג אוויר ועוד. במערכות אלה למרכיבים הפוטונים תפקיד חשוב ולעיתים עיקרי.

הגידול הצפוי בביקוש למוצרי פוטוניקה יביא לגידול גם בביקוש לעובדים. מוצרים ושירותים חדשים שיתבססו על רכיבי ליבה אלו יביאו לגידול היצע של כוח עבודה מיומן בתחום הפוטוניקה, בכל רמות הפיתוח הטכנולוגי לפני העברה לייצור המוני ולכל אורך שרשרת הייצור, ממנהלים ועד עובדי ייצור. קיים צורך ביצירת מיומנויות בתחום הפוטוניקה על מנת לאפשר את התפתחות התעשייה בתחום (European Technology Platform Photonics, 2017).

למכשירים מבוססי פוטוניקה בסיליקון יש יישומים בתחומים שונים, כולל תקשורת אופטית, נתבים אופטיים ומעבדי אותות, טלקומוניקציה, תצוגת שדות אור ועוד. היישום שלהם בתקשורת אופטית מהווה את נתח השוק הגדול ביותר.

הגורם שהניע את התעשייה למציאת האלטרנטיבה של מעגלים פוטוניים משולבים (PIC- photonic integrated circuit), הייתה המגבלה שקיימת במעגלים אלקטרוניים משולבים (electronic -ICs) של מספר גדל והולך של מתגים על מצע סיליקון בודד. מעגלים פוטוניים משולבים פותחו כדי לספק מהירות גבוהה יותר, בגודל קטן יותר ובפונקציונליות מתקדמת.

מעגל פוטוני משולב דומה למעגלים אלקטרוניים מוכללים. בעוד שהאחרון משלב קבלים, מתמרים ונגדים רבים, מעגלים פוטוניים משולבים משלבים מוליכי גל המתפקדים כמאפננים (modulators), לייזרים, גלאים, מנחתים, מרבבים multiplexers, מפלג demultiplexers, ומגברים אופטיים. מעגלים פוטוניים משולבים בדומה למקביליהם האלקטרוניים, מגדילים את היקף השילוב, בשל עשרות רכיבים אופטיים המיוצרים על שבב אחד.

התפלגות השוק לפי יישומים

התפתחות תחום המעגלים הפוטוניים המשולבים (PIC) מתרחשת במידה רבה על בסיס היישום שלהם במגוון תחומים. היישומים העיקריים שבהם משתמשים במעגלים משולבים פוטוניים הם: ביו-פוטוניקה, חישה אופטית ויישומים נוספים שבהם PIC מתפקדים בצורה שונה. היישום הרחב ביותר הוא בתחום התקשורת האופטית, והוא צפוי להמשיך ולהוביל את השוק.

פוטוניקת סיליקון ליישומי תקשורת

בדור החמישי של התקשורת 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 והקווייות 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.

חישה Sensing

השימוש ב-PIC ליישומי חישה אופטית הוא שוק אטרקטיבי, שמציע רגישות גבוהה, תגובה מהירה, חסינות אלקטרומגנטית, קומפקטיות ואינטגרציה בעלות נמוכה עם מכשירים אלקטרוניים בתחום החישה האופטית. יתרונות אלה סייעו ל-PICs לספק מענה ליישומי החישה 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.

ביו-פוטוניקה Bio-photonics

ביו-פוטוניקה הוא מונח המתייחס לשילוב של ביולוגיה ופוטוניקה. ביו-פוטוניקה משמשת בהדמיה ואבחון רפואי וביולוגי, ומסייעת בחקר מולקולות ביולוגיות בתאים וברקמות.

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 בהתפתחות 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. 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. קיימים יישומים רבים אחרים שפוטוניקת הסיליקון יכולה לאפשר, שכוללים מחשבים בעלי ביצועים גבוהים, טלקומוניקציה, חיישנים, מדעי החיים, מחשבים קוונטיים ויישומים מתקדמים אחרים.

5.2 חברות בתחום פוטוניקה ופוטוניקה משולבת בישראל

בישראל יש מספר של חברות עוגן בתחום הפוטוניקה ובהן, אורבוטק (נסחרת ב-NASDAQ), רפאל, אפלייד מטיראלס, סינרון, אופיר אופטרוניקס, Given Imaging, סיוון טכנולוגיות מתקדמות, אלביט מערכות, Semi-Conductor Devices (SCD). בנוסף, יש מספר גדול (כ-300 חברות) של חברות קטנות, רובן חברות הזנק.

פרופ' אברהם קציר מאוניברסיטת תל-אביב⁷⁴ מעריך שכ-10,000 בעלי מקצוע מועסקים בתחום האופטיקה והאלקטרואופטיקה בישראל, באקדמיה, במכוני המחקר ובכ-500 חברות, שרובן חברות הזנק. אנשי מקצוע אלו עוסקים בביו-פוטוניקה, מע' הגנה אלקטרו-אופטיות, תקשורת אופטית, התקנים אופטיים, ציוד בדיקה ובקרת איכות אופטי, אנרגיה מתחדשת ודפוס. לפי פרופ' קציר, החברה הישראלית הגדולה ביותר בתחום היא אל-אופ, שהמכירות שלה הן מעל מיליארד דולר לשנה. יש

Photronics in Israel 2017 International Commission for Optics, 2017 ⁷⁴

לפחות 15 חברות שמוכרות בסכום של מעל 100 מיליון דולר בשנה, וביניהן מובילי המפתחת מערכות ראייה למכוניות ורכבים אוטונומיים, התעשייה האווירית המפתחת מוצרים בתחום ההגנה, אינדיגו, המפתחת מערכות דפוס חדשניות, אורבוטק ו-applied Materials המפתחות מערכות לייזר לדיאגנוסטיקה ותיקון של מעגלים משולבים, GE Healthcare ופיליפס המפתחות מערכות בתחום הבריאות, לומניס המפתחת מערכות לייזר רפואי לניתוחים, סינרון ואלמה המפתחות מערכות לייזר לטיפולים אסתטיים, Given Imaging המפתחת גלולות הדמיה למערכת העיכול, SCD המפתחת סנסורי IR ולייזרים מתקדמים ורפאל המפתחת מערכות אלקטרו-אופטיות שונות, כולל לייזר בעוצמה גבוהה למטרות צבאיות.

שוק הפוטוניקה של הסיליקון עדיין צנוע עם מעט מאוד חברות בעלות מוצרים בשוק. אין כמעט חברות ישראליות שמפתחות, רוב החברות מזמינות פיתוח של רכיבים מחברות בחו"ל (הולנד, מכוני פראונהופר ועוד)⁷⁵.

איגוד תעשיות האופטרוניקה בישראל הוקם ב-2017 במסגרת איגוד תעשיות החדשנות עתירות הטכנולוגיה בהתאחדות התעשיינים. 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: תעשייה חזקה עם חברות עוגן גדולות, חברות סטארט-אפ ואקדמיה מתקדמת בתחומי האופטיקה⁷⁶.

מרכז לאומי לפוטוניקה⁷⁷ - הרציונל להקמת התשתית היה שקיימת תשתית נרחבת בארץ בתעשייה ובאקדמיה בנושא פוטוניקה: חברות, היקף פעילות של 5 מיליארד דולר לשנה וכוח אדם מיומן המתמחה בתחום הפוטוניקה באקדמיה ובתעשייה. סיבה נוספת הייתה החסר בתשתית פיזית בתחום הפוטוניקה בארץ במספר נושאים כדי לקדם את העשייה בתחום לחזית העולמית.

5.3 היתרונות של ישראל בתחום הפוטוניקה

לפי דו"ח של סוכנות החדשנות ההולנדית (Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland, 2017), יתרונה של ישראל בשוק הפוטוניקה העולמי מתבסס על מצוינות אקדמית, תעשייה ביטחונית ונוכחות תעשייתית (אזרחית) בולטת.

ב-2018 נערכה סדנה בנושא תחזיות טכנולוגיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי בתחום הפוטוניקה בישראל. בסדנה השתתפו 17 מומחים מהתעשייה, מהאקדמיה, מהממשלה ומהצבא⁷⁸.

הדוברים בסדנה התייחסו ליתרונות של ישראל בתחום:

בפוטוניקה המשולבת 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. למשל בפיתוח של מוצרים רפואיים ואחרים על בסיס הטכנולוגיה שתפותח. פריצות דרך

⁷⁵ המידע מבוסס על ראיון שנערך עם חיים רוסי

⁷⁶ האיגוד נסגר ב-2022 ולא מופיע ברשימת האיגודים של התאחדות התעשיינים בישראל [/https://industry.org.il/](https://industry.org.il/)

⁷⁷ <https://www.gov.il/he/departments/topics/national-photonics-center/govil-landing-page>

⁷⁸ המשתתפים בסדנה בנושא תחזיות טכנולוגיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי בתחום הפוטוניקה בישראל: אגסי אייל - המכון הביולוגי; בר חיים אריק - רשות החדשנות; גליק ברוך - מנכ"ל SCD לשעבר; ואן זוהרן משה (גיו) - Jerusalem Business Networking Forum; וייזר בועז - אל-אופ; לביא רפי - מרכז פוטוניקה שורק; לינדנבאום חיים; מינצר נילי - רשות החדשנות; סרוסי גבי - אוניברסיטת בן גוריון; פינקלר רמי - התאגדות מהנדסי החשמל והאלקטרוניקה בישראל; קלמני גל - מפא"ת; קרפל ניר - רפאל; רוזנברג שי - משרד הבטחון; שושן איתמר - רשות החדשנות; שטריכמן איתי - SCD; שר אריאל - מרכז פוטוניקה שורק; בליט שמואל.

יכולות להיות למשל ביישום רפואי שלא ניתן ליישם כיום בממדים גדולים והטכנולוגיה יכולה לאפשר לעשות בממדים יותר קטנים.

בנוסף, ישראל הצליחה להיות החברה המובילה ב-Inspection של קווי הייצור (APPLIED MATERIALS). רוב ציוד ה-inspection במפעלי הייצור של המיקרואלקטרוניקה הוא ישראלי.

אפשר להקביל את המהפכה בתחום הפוטוניקה למהפכה שקרתה בתחום האלקטרוניקה. כמו במיקרואלקטרוניקה למרות שישראל לא נמצאת בין 'השחקנים הגדולים' הצליחו למצוא נישות מעניינות, כך גם בתחום הפוטוניקה המשולבת צריך למצוא מה הן הנישות. כדאי לעשות חשיבה איפה היתרונות היחסיים של ישראל ומיהן החברות הרלבנטיות שרוצות להיכנס לתחום.

לישראל יש הרבה מאוד ידע ייחודי בתחום הזה, שהוא בעל ערך עצום. יש הרבה סטרטאפים בתחום, יש ייחודית עצומה בתחום אלקטרואופטיקה קוואנטית, יש את קבוצות המחקר הכי טובות בעולם אבל אין תשתיות. כדי לעשות את זה צריך מרכז יצור.

5.4 תחומי תואר/ ידע בסיסי רלבנטיים לתחום פוטוניקה ופוטוניקה משולבת

תחומי התואר/ ידע בסיסי הרלבנטיים לתחום פוטוניקה ופוטוניקה משולבת הם: פיזיקה והנדסת חשמל.

המסלול שמשלב פיזיקה והנדסת חשמל במוסדות האקדמיים נותן את הבסיס לתחום.

מסלולי לימוד המשלבים פיזיקה והנדסת חשמל ניתן ללמוד לדוגמה ב:

- **באוניברסיטת תל אביב** - חשמל ופיזיקה (תואר כפול) - מטרת השילוב להכשיר עתודת חוקרים ומהנדסים, אשר חלקה ימשיך בלימודים לתארים גבוהים ואשר תוכל לתפוס תפקיד חשוב, הן במחקר האקדמי המדעי והן בפיתוח והנהגה של התעשייה עתירת הטכנולוגיה בארץ. כמו כן ניתן ללמוד במסגרת הנדסת חשמל לתואר שני את תחומי האלקטרואופטיקה ותחומי מחקר בנושא אלקטרוניקה פיזיקלית.

- **באוניברסיטת בר-אילן ניתן ללמוד תואר משולב בהנדסת חשמל ופיזיקה** - בתוכנית זו הסטודנטים רוכשים השכלה מדעית מעמיקה ורחבה בפיזיקה המשולבת בידע מדעי - טכנולוגי בתחומי האלקטרוניקה, המחשבים והתקשורת, הנרכש במסגרת הלימודים.

מוסדות נוספים בהן קיימות תוכניות בהם ניתנת הכשרה לתחום:

בטכניון - קיימת תוכנית לימודים משולבת לתואר מוסמך למדעים בהנדסת חשמל ופיזיקה הטכניון מציע מסלול למועמדים מצטיינים המעוניינים בלימודי הנדסה בתחום של אלקטרוניקה, אופטואלקטרוניקה, גלים ותקשורת עם חשיפה ויכולת להשתלב בכל התחומים בהנדסת חשמל עם בסיס מדעי רחב בפיזיקה. המסלול מקנה תואר ראשון בפיזיקה ובהנדסת חשמל.

הטכניון מציע תוכנית לימודים לתואר ראשון ולתארים גבוהים בהנדסה אופטית בפקולטה להנדסת מכונות. תוכנית הלימודים היא בין-תחומית ומשלבת בין הנדסה ומדעיים וכוללת נושאי היי-טק כגון לייזרים, ננואופטיקה, מיקרואופטיקה, אופטיקה לא קונבנציונלית, הולוגרפיה, אלמנטים דיפרקטיביים, מחשוב אופטי, מערכות הדמאה, עיבוד תמונה, חיישנים אופטיים, מצלמות חכמות, הדמאה תרמית, אופטומכניקה, שיטות מדידה אופטיות תלת-ממדית, זיכרונות אופטיים, ומערכות רישום וסריקה אופטיות.

המגמה להנדסה אופטית בטכניון הותאמה לצרכים ההולכים וגדלים של חברות היי-טק בארץ הרואות בפיתוח מערכות אופטיות עתיד מבטיח. התעשייה האופטית בישראל פעילה במערכות מדידה

ובקרה אופטיות, יישומים רפואיים, מולטימדיה, עיבוד חומרים, מערכות לייזר, מערכות חלליות לצילום, וייצור שבבים אופטיים. בארץ עוסקות מאות חברות בפיתוח המבוסס בעיקרו על אופטיקה ולייזרים.

באוניברסיטת בן גוריון – ניתן ללמוד במסגרת לימודי הפיזיקה במגמת פוטוניקה. זוהי אחת ממגמות הלימוד שבהן יכולים לבחור סטודנטים במסגרת לימודי פיזיקה לתואר ראשון ובה לומדים על סוגיות מרכזיות שונות בענפי הפוטוניקה והאלקטרו-אופטיקה. בוגרי המגמה מחזיקים בידע ובכלים שיכולים לסייע להם בהשתלבותם בתעשייה עתירת הידע בענפי הפיתוח והמחקר האלקטרו-אופטי. כמו כן, הבוגרים יכולים משמשים בתפקידים בפיתוח אלגוריתמים, במחקר ביולוגי ומולקולרי, בתעשייה הביטחונית ובענפים נוספים. באפשרותם גם להמשיך לתארים מתקדמים ולפתוח בקריירה אקדמית מחקרית בענף הפוטוניקה.

אוניברסיטת בן-גוריון מציעה תוכניות לימודים באלקטרואופטיקה לתארים גבוהים. היחידה פתוחה לבוגרי מחלקות הפקולטה למדעי ההנדסה או לבוגרי מחלקות הפקולטה למדעי הטבע. האוניברסיטה מציעה תוכנית לימודים לתואר שני ביחידה להנדסת אלקטרואופטיקה, בפקולטה למדעי ההנדסה. תוכנית הלימודים כוללת נושאי טכנולוגיה עילית (הייטק), כגון: תקשורת אופטית בסיבים, עיבוד נתונים אופטי, אופטיקה ביו-רפואית, צגים ומאפנני אור מרחביים ופוטוניקה משולבת. היחידה מציעה מספר תחומי התמחות אפשריים: מערכות דימות ועיבוד תמונה. אופטיקה ביו-רפואית, אופטיקה קוונטית ולייזרים, תקשורת אופטית, התקנים אופטו-אלקטרוניים להדמיה וצגים, ננפוטוניקה, פלסמוניקה⁷⁹ ופוטוניקה משולבת. בנוסף, כוללת תוכנית הלימודים קורסי אלקטרואופטיקה כלליים כגון: אופטו-מכניקה, תכנון אופטי לדימות, תכנון אופטי לריכוז עצמה באנרגיה סולרית והתפשטות גלים א"מ בתווך ביולוגי. המגוון הרחב של המקצועות מיועד לאפשר לבוגרי תוכניות אלו להשתלב בתעשייה המתפתחת בארץ. לבוגרי תואר שני באלקטרואופטיקה קיימת אפשרות ללימודי תואר שלישי (Ph.D) בתחומי לימוד מתאימים⁸⁰.

באוניברסיטה העברית – בחוג להנדסת חשמל ופיזיקה יישומית – תואר ראשון - מכשירים סטודנטים בעלי רקע ועניין פיזיקלי-מתמטי לעיסוק במחקר ופיתוח בחזית היצירה של טכנולוגיות בראשיתיות בתחומי האופטואלקטרוניקה (לייזרים, חיישנים, מערכות דימות), המיקרואלקטרוניקה (רכיבי עיבוד מידע, מיתוג, תקשוב, זיכרונות), הננוטכנולוגיה (תופעות פיזיקליות בגבול הננומטרי, עולם הקוונטים) ושילובם במערכות מתקדמות (תקשורת, מחשוב, חישה, ועוד). התוכנית מיועדת לסטודנטים השואפים לעסוק בפעילויות מו"פ המשלבות הנדסה, מחקר מדעי וכושר המצאה בתעשיית ההיי-טק המבוססת או בחברות הזנק, הבטחון, או כקרב קפיצה למחקר מתקדם. בשנה השלישית ללימודים על הסטודנטים לבחור באחד ממסלולי ההתמחות הבאים: אופטואלקטרוניקה: תחום ההתמחות המשלב אור כנשא אינפורמציה עם מערכות מידע. דוגמה לקורסים הניתנים במסלול: פיזיקת הלייזרים, תקשורת אופטית וקוונטית, התקנים אופטואלקטרוניים וננופוטוניקה.

באוניברסיטת אריאל קיימות התמחויות לתואר ראשון במחלקה **להנדסת חשמל ואלקטרוניקה** – בתחום האלקטרואופטיקה (פרופ' שמואל שטרנקלר, פרופ' אראל גרנות וד"ר דוד אבוקסיס) ו**בתחום המיקרו-אלקטרוניקה** (פרופ' יוסף ברנשטיין).

קיימות גם התמחויות לתואר שני במחלקה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה: באלקטרו-אופטיקה המסלול מקנה לסטודנט ידע רחב בנושאים שונים הקשורים לתחום, כגון: מקורות וגלאים, לייזרים, מערכות אופטיות, שילוב אופטיקה ברפואה וביולוגיה, תקשורת אופטית, אופטיקה-לא-ליניארית, חיישנים ואפיון חומרים. במיקרואלקטרוניקה והתקנים אלקטרוניים – במסלול זה הסטודנט רוכש ידע

⁷⁹ חומר פלסמוני הוא חומר דוגמת כסף, זהב או חומרים פיאזו אלקטריים, שכאשר הם מיוצרים בשכבה דקה מאוד, האלקטרון מתנהג כמו גל אלקטרומגנטי המתפזר על פני החומר. כאשר מעבירים פוטון בחומר, התנהגותו מושפעת מהשדה האלקטרומגנטי המיוצר על ידי הפוטון.

⁸⁰ <https://in.bgu.ac.il/engn/electrop/Pages/About.aspx>
<https://in.bgu.ac.il/engn/Documents/YearBooks/2019/377-2019.pdf>

בטכנולוגיות של מזעור אלקטרוניקה מודרנית, פיזיקה וטכנולוגיה של מוליכים למחצה ומוליכי-על, מיקרו-מוליכים ונגו-מוליכים ותהליכים קוונטים ברכיבים אלקטרוניים.

מכללת בראודה - התואר הראשון **בהנדסת חשמל ואלקטרוניקה** כולל קורסים באלקטרו-אופטיקה. כמו כן במכללה תוכנית חדשה שהחלה לפעול בשנת תשע"א בהנדסה אופטית: המקנה תואר בוגר במדעים (B.Sc.). התוכנית המוצעת מקנה את הרקע והכלים בפיזיקה, באופטיקה, בתכנות, באלקטרוניקה ובמכונות ומקנה הכשרה הנדסית מספיק רחבה אשר תאפשר לבוגריה להשתלב בתעשייה עתירת הטכנולוגיה ולתרום לפיתוחה. התוכנית מציעה שלוש מגמות התמחות: מגמת אלקטרו-אופטיקה אשר תכשיר מהנדס בגישה מערכתית ובעל רקע בהנדסת חשמל; מגמת מכנו-אופטיקה אשר תכשיר מהנדס בגישה מערכתית ובעל רקע בהנדסת מכונות; ותוכנית לתואר כפול: **הנדסה אופטית – הנדסת חשמל**.

במכללת עזריאלי להנדסה – תוכנית הלימודים **במסגרת תואר ראשון בהנדסת חשמל ואלקטרוניקה** כוללת קורסים באלקטרו-אופטיקה כגון אופטיקה מודרנית ולייזרים, עיבוד אופטי של תמונות ותקשורת אופטית.

במכללת אפקה – בתואר ראשון בהנדסת חשמל במסגרת מסלול התמחות בתקשורת, נלמדים קורסים באלקטרואופטיקה - מבוא להנדסה אלקטרו אופטית ותקשורת אלקטרו אופטית.

במכון הטכנולוגי חולון – במסגרת תואר ראשון בהנדסת חשמל ואלקטרוניקה קיים מסלול התמחות **באלקטרו-אופטיקה** ומיקרואלקטרוניקה. גם במסגרת התואר שני בהנדסת חשמל ואלקטרוניקה קיים מסלול התמחות בנושא אלקטרואופטיקה.

במכללת מכללת סמי שמעון – קיימים לימודי תואר ראשון **בהנדסת חשמל ואלקטרוניקה** אך אין מסלול התמחות באלקטרואופטיקה. במכללה קיים **מרכז מחקר לאלקטרואופטיקה, פיתוח טכנולוגיות לייזרים ויישומיהם**. מרכז המחקר לפיתוח טכנולוגיות לייזר ויישומיהם שם דגש על תחום הרפואה, זהו מרכז מולטי-דיסציפלינרי שעוסק בענפים השונים של תחום **הפוטוניקה, אלקטרואופטיקה** והלייזרים. מרכז המחקר יקדם פיתוח של שיטות אופטיות ליישומים רפואיים. המחקר יתמקד בניתוח אופטי, הדמיה במספר אופנים והשילוב ביניהם, בכדי להשיג כושר טיפול ברקמות ביולוגיות באופן פחות חודרני, יותר מדויק ובעל זמן החלמה קצר יותר⁸¹.

5.5 צורכי הכשרה אקדמית לתחום הפוטוניקה

- במעטפת של הרכיבים קיים מחסור במהנדסי פתרון. ההכשרה היא **הנדסת תהליך בעולמות של רכיבים אופטיים**.
- לאריזת הרכיב ומימושו כפתרון או כמערכת, **נדרשים מהנדסי מערכות עם התמחות ברמת הרכיב**.
- חסרים **מתכננים אופטיים. הנדסאים / טכנאי אלקטרו-אופטיקה**.
- חסרים **מתכנני אופטומכניקה**
- חסרים **מכשירני פיתוח**
- חסרים **מהנדסי איכות למערכות מורכבות**.

⁸¹ גץ דפנה, גלעד ורד, בוכניק ציפי. תחזיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי מיפו, בחינת צרכים וקביעת מדיניות להכשרות רב-תחומיות בישראל חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2022. <https://www.neaman.org.il/Technological-forecasting-for-scientific-and-technological-human-resources-2021>

כל נושאי המו"פ בפוטוניקה (טכנולוגיות מפציעות ברמת בשלות נמוכה) דורשים הכשרה אקדמית, הניתנת רק בתארים המתקדמים).

5.6 צרכי התעשייה להכשרות LLL לתחום פוטוניקה ופוטוניקה משולבת

האנשים העוסקים בתחום זה מגיעים מדיסציפלינות ומפקולטות שונות ולרוב הסטודנטים לפיזיקה לא נחשפים לנושאי הפוטוניקה ולפוטנציאל הגלום בה ולכן קיים מחסור בכ"א בתחום הפוטוניקה שקיבל הכשרה בנושא.

המסלול שמשלב פיזיקה והנדסת חשמל במוסדות האקדמיים נותן את הבסיס לתחום. ההכשרות אינן מספקות ובסופו של דבר חלק גדול מהכשרת כוח האדם מבוצע במקומות העבודה. מערכות אלקטרו אופטיות הן מולטי-דיסציפלינריות ונדרשת להם הכשרה נוספת ע"י הצטרפות לפרויקטים בתעשייה המובלים ע"י בעל מקצוע ותיק. לכן נדרשות הכשרות רב תחומיות בתחומי הפוטוניקה עם מרכיב התנסותי משמעותי (פרויקטים וכיו"ב).

יש צורך בהכשרת כוח האדם הקיים בנושאים מתקדמים. הפערים המרכזיים הינם בתחומים הבאים:

- הנדסת מערכת אלקטרו-אופטית – חסרה הכשרת מהנדסים כמהנדסי מערכת לתחום האלקטרואופטיקה, המצריך הבנה מערכתית בתחומים רבים שתורמים לתכן המערכת. נדרשת הכשרה בסיסית להנדסת מערכת ו/או הכשרה משמעותית יותר לממשק עם דיסציפלינות אחרות.
- גם במסגרת ההכשרה של מהנדס בדיסציפלינה מסוימת, חסרה הכשרה בסיסית לדיסציפלינות "שכנות" בתחומי האלקטרואופטיקה. למשל, מהנדסי מכונות לא מספיק מכירים הנדסת חומרים והנדסת אופטיקה, מהנדסי אלקט' לא מספיק מכירים שיקולי חום, מהנדסי תוכנה מגיעים עם הבנה בסיסית (מדי) בתשתית העיבוד (אלקט') וכו'.
- אין הכשרה מספקת לכ"א שעוסק בייצור / אינטגרציה / בדיקות של מערכת אלקטרו-אופטיות. זה מתחבר לחוסר כללי בהנדסאים / טכנאי אלקטרו-אופטיקה.

בעתיד צפוי גידול בעיסוק בתחומי הפוטוניקה ולכן הפערים המתוארים לעיל אף צפויים לגדול⁸².

במסגרת העבודה הנוכחית נשלח שאלון לבחינת צרכי הכשרות LLL בחברות לתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה⁸³ (סיכום ממצאי השאלון מופיע בנספח לחלק זה). הצרכים שעלו מובאים להלן:

- תכן CMOS image sensor technology בראיה מערכתית. פוטוניקה לתחום הרכב (אילוצי תקנים ומגבלות מחיר)
- VCSEL – תכן למקור אור
- ידע בתכן מערכות אופטיות, שיקולי מערכת בתכנון ורטיקלי של מערכות.
- למעט בוגרי פיסיקה הלומדים אלקטרואופטיקה (פוטוניקה) בלימודי התואר ובודדים שבחרים במסלול התמחות שגם הוא מאד בסיסי, כל האחרים לא מקבלים שום הכשרה בתחום. ההכשרה הנוספת שהם נדרשים אליה היא:
- יסודות האלקטרואופטיקה

⁸² גץ דפנה, גלעד ורד, בוכניק ציפי. תחזיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי מיפו, בחינת צרכים וקביעת מדיניות להכשרות רב-תחומיות בישראל חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2022. <https://www.neaman.org.il/Technological-forecasting-for-scientific-and-technological-human-resources-2021>

⁸³ רשימת העונים לשאלון LLL לתחום פוטוניקה ופוטוניקה אינטגרטיבית: IAI - Avital Schrift סמנכ"ל (VP) לקידום טכנולוגיות בתעשייה האווירית, חיים רוסו ועופר דוד, Brightway-vision

- הייחודיות של הדיסציפלינה המקצועית למשל: אלקטרוניקה של לייזרים, מכניקה של מצלמות חלל, דבקים אלקטרואופטיים וכו'.

ההכשרות ביסודות האלקטרואופטיקה וכדו' מיועדות בעיקר למהנדסים צעירים או לכאלה שנדרשים לעשות הסבה מתוך התחום (למשל מלייזרים למערכות ראיית לילה). בנוסף יש צורך בהכשרות למהנדסים קיימים ומנוסים משתי סיבות: התפתחויות טכנולוגיות (התחום מאד דינמי) וכניסה צפויה של טכנולוגיות חדשות: פוטוניקה קוואנטית ופוטוניקה אינטגרלית (PIC).

5.7 מצב קיים - הכשרות LLL לתחום פוטוניקה ופוטוניקה משולבת

- ברוב חברות הגדולות ניתנת הכשרה פנימית והיתר דרך OJT. בחברות בינוניות וקטנות אין אפשרות לבצע הכשרות פנימיות אלא רק OJT, עובדה שמקטינה מאד את האפקטיביות של המהנדס בחודשים/שנים ראשונים.
- אנשי משאבי אנוש בחברה הוא האחראי על הכשרות המהנדסים. בדרך כלל ההכשרות הן שילוב של הדרכות הניתנות ע"י מומחי תוכן ומוקדי ידע בתוך החברה ושל הדרכות חיצוניות. בנוסף החברה משתתפת בעלויות של מהנדסים שמבקשים (באישור הממונים) להתמחות בנושאים מיוחדים בין אם ע"י קורסים חיצוניים או תארים מתקדמים.
- אין מקורות הכשרה זמינים בשוק. מדי פעם צצות יוזמות פרטיות של בודדים המציעים קורסים. במיפוי שערכנו בחלק א' של עבודה זו נמצאה הכשרת LLL אחת לתחום הפוטוניקה, שעונה על הקריטריונים שנקבעו למחקר זה:

קורס הנדסת מערכות פוטוניות שניתן ע"י לשכת המהנדסים האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל. הקורס מועבר על ידי מומחי חברת "אלביט מערכות אלאופ" ובתמיכת איגוד פוטוניקס ישראל בלשכת המהנדסים.

מטרות הקורס:

- הכרה של עקרונות הפעולה של המרכיבים הפוטונים במערכת, אופני ותחומי פעולתם.
- הכרה של שיקולי הבחירה של הרכיבים הפוטונים.
- הכרה של שיקולי השילוב במערכת ומה נדרש כדי שיפעלו אופטימלית.
- הכרת התהליך השיטתי לתכנון המערכת.

קהל היעד:

מהנדסים השואפים להתקדם ולפעול כמהנדסי מערכת וכן למהנדסים המעוניינים להכיר תחום חשוב זה.

5.8 המלצות למדיניות בהכשרות LLL לתחום פוטוניקה ופוטוניקה משולבת

המסלול שמשלב פיזיקה והנדסת חשמל במוסדות האקדמיים נותן את הבסיס לתחום. לרוב הסטודנטים לפיזיקה לא נחשפים לנושאי הפוטוניקה ולכן קיים מחסור בכ"א והכשרות בתחום.

יש צורך בהכשרת כוח האדם הקיים בנושאים מתקדמים. נדרשות הכשרות בתחומים הבאים:
- הכשרת מהנדסים כמהנדסי מערכת לתחום האלקטרואופטיקה- יסודות האלקטרואופטיקה.
נדרשת הכשרה בסיסית להנדסת מערכת ו/או הכשרה משמעותית יותר לממשק עם דיסציפלינות אחרות.

- הכשרה בסיסית לדיסציפלינות "שכנות" בתחומי האלקטרואופטיקה. למשל, למהנדסי מכונות הכרות עם הנדסת חומרים והנדסת אופטיקה, למהנדסי אלקט' הכרות עם שיקולי חום, למהנדסי תוכנה הכשרה בתשתית העיבוד (אלקט') וכו'. הייחודיות של הדיסציפלינה המקצועית למשל: אלקטרוניקה של לייזרים, מכניקה של מצלמות חלל, דבקים אלקטרואופטיים וכו'.
- הכשרה לכ"א שעוסק בייצור / אינטגרציה / בדיקות של מערכת אלקטרו-אופטיות.
- תכן CMOS image sensor technology בראיה מערכתית.
- פוטוניקה לתחום הרכב (אילוצי תקנים ומגבלות מחיר)
- VCSEL – תכן למקור אור
- ידע בתכן מערכות אופטיות, שיקולי מערכת בתכנון ורטיקלי של מערכות.

ההכשרות ביסודות האלקטרואופטיקה וכדו' מיועדות בעיקר למהנדסים צעירים או לכאלה שנדרשים לעשות הסבה מתוך התחום (למשל מלייזרים למערכות ראיית לילה). בנוסף יש צורך בהכשרות למהנדסים ומנוסים.

5.9 נספחים

5.9.1 נספח א- ניתוח תשובות לשאלון בתחום פוטוניקה ופוטוניקה משולבת

העונים:

1. IAI - Avital Schrift סמנכ"ל (VP) לקידום טכנולוגיות בתעשייה האווירית
2. חיים רוטו
3. עופר דוד, Brightway-vision

1. מהי הדיסציפלינה האקדמית שבה קיבלו הכשרה המהנדסים שעובדים כיום בחברה שלך, ואיזה הכשרה נוספת נדרשת לצורך פעילות החברה בתחומי בינה מלאכותית AI ומדעי הנתונים?

- פיזיקה
- הנדסת חשמל
- אלקטרוניקה
- מכונות
- מדעי המחשב
- חומרים
- אווירונאוטיקה
- תעשייה וניהול
- תארים מתקדמים במתמטיקה, כימיה

2. האם ניתנת לעובדי החברה שלך הכשרה בתחומי בינה מלאכותית AI ומדעי הנתונים (בתוך החברה או הכשרה חיצונית)? במידה וכן איזה הכשרה?

- לרוב בחברות הגדולות ניתנת הכשרה פנימית והיתר דרך ONT. בחברות בינוניות וקטנות אין אפשרות לבצע הכשרות פנימיות אלא רק ONT, עובדה שמקטינה מאד את האפקטיביות של המהנדס בחודשים/שנים ראשונים.
- ארגון ההון האנושי בחברה הוא האחראי על הכשרות המהנדסים. בדרך כלל ההכשרות הן שילוב של הדרכות הניתנות ע"י מומחי תוכן ומוקדי ידע בתוך החברה ושל הדרכות חיצוניות. בנוסף החברה משתתפת בעלויות של מהנדסים שמבקשים (באישור הממונים) להתמחות בנושאים מיוחדים בין אם ע"י קורסים חיצוניים או תארים מתקדמים.
- אין מקורות הכשרה זמינים בשוק. מדי פעם צצות יוזמות פרטיות של בודדים המציעים קורסים.

3. האם קיימים צורכי הכשרת כוח אדם בתחומי בינה מלאכותית AI ומדעי הנתונים שאין להם כיום מענה?

- תכן CMOS image sensor technology בראיה מערכתית. פוטוניקה לתחום הרכב (אילוצי תקנים ומגבלות מחיר)
- VCSEL – תכן למקור אור
- חסר ידע בתכן מערכות אופטיות, שיקולי מערכת בתכנון ורטיקלי של מערכות. לדוגמא – כיצד משפיע פרמטר עמוק בתכן רכיב על ביצועי המערכת כולה?
- למעט בוגרי פיסיקה הלומדים אלקטרואופטיקה (פוטוניקה) בלימודי התואר ובודדים שבחרים במסלול התמחות שגם הוא מאד בסיסי, כל האחרים לא מקבלים שום הכשרה בתחום. ההכשרה הנוספת שהם נדרשים אליה היא:
 - o יסודות האלקטרואופטיקה

- הייחודיות של הדיסציפלינה המקצועית למשל: אלקטרוניקה של לייזרים, מכניקה של מצלמות חלל, דבקים אלקטרואופטיים וכו'
- כל נושאי המו"פ בפוטוניקה (טכנולוגיות מפציעות ברמת בשלות נמוכה) דורשים הכשרה אקדמית, הניתנת רק בתארים המתקדמים.

4. האם צפוי שינוי בהכשרות שיידרשו לכוח האדם בתחום זה בעתיד הקרוב מבחינת כמות ו/או סוג הכשרה והאם נדרשת היערכות/ התאמת ההכשרות לקראת שינויים אלו?

- ההכשרות ביסודות האלקטרואופטיקה וכדו' מיועדות בעיקר למהנדסים צעירים או לכאלה שנדרשים לעשות הסבה מתוך התחום (למשל מלייזרים למערכות ראיית לילה). בנוסף יש צורך בהכשרות למהנדסים קיימים ומנוסים משתי סיבות: התפתחויות טכנולוגיות (התחום מאד דינמי) וכניסה צפויה של טכנולוגיות חדשות : פוטוניקה קוואנטית ופוטוניקה אינטגרלית (PIC).
- להערכתי, הצורך בהכשרה אקדמית לנושאי המו"פ השונים לא ישתנה בעתיד הקרוב. קשה לחזות.

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

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, ביופארמה⁸⁴, 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, ויוצרת הזדמנויות לחדשנות טכנולוגית שהיא בעלת פוטנציאל רב לשפר את בריאות הציבור ולייצר אפשרויות כלכליות משמעותיות. הדוגמאות לשילובים אלו רבות וכוללות לדוגמא, 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 FutuRx⁸⁵ 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 תשפיעה 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 מדיסיפלינות שונות. בדו"ח שהוצג בשיתוף עם האגודה האמריקאית לקידום המדע - AAAS⁸⁶ נטען 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. התוצאה היא תחומי מחקר משמעותיים חדשים במדעי החיים, כגון ביו-הנדסה, ביולוגיה חישובית, ביולוגיה סינתטית והנדסת רקמות.

⁸⁴ Biopharmaceutical: a pharmaceutical derived from biological sources and especially one produced by biotechnology (Merriam Webster Dictionary)

⁸⁵ במסגרת החממה חברות גדולות כגון Johnson & Johnson ו Takeda מסייעות במימון ובעזרה מקצועית לחברות פארמה קטנות הנמצאות בתהליכי המו"פ הראשוניים שלהם.

⁸⁶ American Association for the Advancement of Science (AAAS)

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 תלויה 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).

בעולם הרפואה ההתמקדות היא על שלושה תחומים והם: פיתוח תרופות חדשניות, פיתוח ציוד רפואי – Medical Devices and Equipment ופיתוח כלי דיאגנוסטיקה.

6.2 יתרוניתה של ישראל בתחום

יתרוניתה 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 עתק ובבינה מלאכותית וכן תעשיית טכנולוגיה רפואית מבוססת המשלבת חברות מקומיות ובינלאומיות. המערכת האקדמית המובילה בישראל, כמו במדינות מפותחות אחרות⁸⁷, הינה מקור חשוב לחדשנות עבור התעשייה. שילוב חוזקות הנדסיות אלו עם תחום הביולוגיה והרפואה, הינו בעל פוטנציאל להניב יתרונות משמעותיים לישראל (PWC & IIA, 2019); התוכנית 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.

6.3 חסמים וכשלי שוק⁸⁸

- 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

⁸⁷ כך לדוגמה, מגזר מדעי החיים הוא הסקטור שמכניס את הרווחים הגדולים ביותר לאוניברסיטאות מובילות בארה"ב כתוצאה מ Technology Transfer (Huggett, 2014).

⁸⁸ כשלי השוק מבוססי על שיחה עם די"ר ז'ינט לזרוביץ' בתאריך 29 בדצמבר 2019 שבה היא העלתה מספר חסמים וכשלי שוק ביישום ה-Bio-Convergence לתחום הרפואה

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.

6.4 חברות בתחום Bio - Convergence

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 ה-Health IT. בתחום הפרמצבטיקה עוסקות כ-13% מהחברות ובתחום הדיאגנוסטיקה כ-8%. מעט חברות (2%) עוסקות בתחום הביו-אינפורמטיקה וכ-5% בפיתוח מוצרים ביולוגיים (IATI PWC & IIA, 2019) (Biologicals).

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.⁸⁹

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 ה-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 במוצע לסבב במחצית הראשונה של שנת 2018 לעומת כ-3.5 מיליון דולר ב-2014 (Beazley, 2018). מבין תתי התחומים המרכיבים את תחום הבריאות הדיגיטלית⁹⁰, כשליש מהחברות הן בתחום ה-Digital Therapeutics, העוסק במתן כלים ופלטפורמות לפציינט לעקוב ולטפל במצבים רפואיים שונים מהם הוא סובל. כחלק מהטכנולוגיה, מידע ביולוגי, התנהגותי, וסביבתי אודות החולה נאסף ומתורגם להמלצות ברות-ביצוע לשיפור מצבו הבריאותי.

⁸⁹ על בסיס ניתוח שנעשה בעזרת נתוני Start Up Nation Central עם מילות המפתח: Pharmaceutical, Biopharmaceutical, Pharmaceutical preparation, Drug-design, Orphan-drug, Drug-discovery, Therapeutics Remote Monitoring, Assistive Devices, Diagnostics, Patient Engagement, Clinical Workflow, Decision Support, Digital Therapeutics (Beazley, 2018)

6.5 תחומי תואר/ ידע בסיסי רלבנטיים ל- Bio - Convergence

העובדים בחברות העוסקות ב- Bio - Convergence הם בעלי הכשרה בסיסית לתואר בתחומי הלימוד הבאים:

- הנדסה ביו-רפואית
- ביולוגיה
- ביו-אינפורמטיקה
- גנטיקה
- מכניקה
- מדעי המחשב
- הנדסת אלקטרוניקה
- בקרה
- הכשרות נוספות: רקע באנטומיה (הדרכות, השתתפות בניתוחים).

הנדסה הביו-רפואית, משלבת את עולמות התוכן של מדעי החיים, הרפואה וההנדסה. במסגרת זו מופו הפקולטות או המחלקות להנדסה ביו-רפואית באוניברסיטאות המחקר בישראל. ראוי לציין כי גם באוניברסיטאות אחרות, כגון במכון ויצמן למדע, מתבצע מחקר המשיק לתחומים אלו, וכן באוניברסיטת בר אילן בה חוקרים מהפקולטה להנדסה עוסקים בין היתר בתחומי הביו-הנדסה. עם זאת, במסודות אלה החוקרים אינם פועלים במסגרת פקולטה ייעודית לכך.

6.5.1 לימודי תואר ראשון בהנדסה ביו-רפואית בישראל

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, ביומכניקה וזרימה והנדסת רקמות וביו-חומרים.

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).

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, ביופרמצבטיקה וננו-רפואה, ביופיסיקה, מודלים מתמטיים במערכות ביו-רפואיות, ננו-ביו אלקטרוניקה (כדוגמת טכנולוגיות מיקרואלקטרוניות 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").

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

אוניברסיטת בר אילן

באוניברסיטת בר אילן ניתן ללמוד הנדסה ביו-רפואית כחלק ממסלולי הפקולטה להנדסה. תחומי המחקר הנלמדים עוסקים במכשור ביו-רפואי, נוטכנולוגיה 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.

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, ביו-חומרים, ביו-מכניקה, ביו-אלקטרוניקה ועוד (ביו הנדסה - לימודים לתואר מוסמך). באוניברסיטה העברית פועל מרכז מולטי-דיסציפלינרי לביו-הנדסה במסגרתו מתקיימים המחקרים (Alexander Grass Center for Bioengineering).

מכון ויצמן למדע

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 הנוירולוגיה. המרכז לפיסיקה ביולוגית ע"ש קלור עושה שימוש בשיטות הנדסיות ופיזיקליות למחקר מדעי על מבנים פיזיולוגיים וביוכימיים ומכון הנרי חנוך קרנטר לדימות ביו-רפואי 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 בעילות מידע רב שנוצר ממחקרים מודרניים בהיקף גדול (מרכזים ומכונים | מכון ויצמן למדע).

6.6 צרכי התעשייה להכשרות LLL בתחום Bio - Convergence

במסגרת העבודה הנוכחית נשלח שאלון לבחינת צרכי הכשרות LLL בחברות בתחום Bio - Convergence⁹¹ (סיכום ממצאי השאלון מופיע בנספח א לחלק זה). ממצאי המענה לשאלון שולבו בחלק זה יחד עם ממצאים בנוגע לצרכי הכשרת כ"א בתעשייה בתחום Bio - Convergence שעלו

⁹¹ רשימת העונים לשאלון LLL בתחום bio-convergence: Mr. Oren Glanz - Lempo CEO & Co-Founder, Mr. Avi Turgeman - Mr. Moshe Einhorn - CTO & Co-Founder GNX data systems (genoox), Key Executive Tamar Robotics

מהראיונות והמענה לשאלון⁹² בעבודה קודמת בנושא שבוצעה במוסד נאמן⁹³. הממצאים העיקריים לגבי הכשרות LLL בתחום היו:

- ההכשרה הקיימת כיום לתחום הינה חסרה מאוד ביחס לצרכים. צפוי שיכנסו כלים חישוביים ורובוטיקה לעולם הביולוגיה, דבר שידרוש הכשרה בתחומים אלו. בתחום הרובוטיקה הרפואית, זה בעיקר התפקיד של איש האפליקציה או מנהל המוצר. בנוסף חשוב שתינתן גם העשרה ליתר המהנדסים ולשפר את תהליך פיתוח המוצר.

- לימוד ביולוגיה בעתיד צריך לכלול כלים מתמטיים וחישוביים ברמה גבוהה, כמו כן יש ללמד שילוב של טכנולוגיה, בפרט רובוטיקה בביצוע ותכנון ניסויים.

- בתחומי הפיתוח נראה שאין מספיק אנשים עם רקע פיזיקאלי או הנדסת חשמל, עם ראייה מולטי-דיסציפלינרית מספקת. קשה מאד למצוא אנשים עם רקע חזק באלקטרופיזיולוגיה.

- אופי העבודה של חוקרים במדעי החיים שונה מהותית מזה של מהנדסים בעולם הטכנולוגי. מושגים כמו פיתוח agile מנוגדים לחינוך שקיבלו ולשיטות העבודה שלהם. נדרשת הכשרה שלהם לעבודה בסביבות פיתוח מהיר ובמתודולוגיות מתאימות.

- צריך לחזק מאוד את הרקע הטכני של אנשים שמגיעים מהצד של מדעי החיים\רפואה, כדי שיבואו פתוחים ומכירים יותר את העולמות של ביו-אינפורמטיקה, מדעי המחשב, גנטיקה וביולוגיה.

בחלק מהחברות נבנו תשתיות הכשרה פנימיות. לעובדים ניתנת הכשרה בחברות בתחום התמחותם, תוך כדי עבודה, בעיקר למידה מסרטי הדרכה וצפייה בניתוחים.

דוגמא לנושאים בהן נדרשות הכשרות LLL ניתן למצוא ברשימת נושאים המוצעים על ידי⁹⁴ Technical University of Denmark המופיעה בדו"ח שכותרתו היא Biotech Lifelong Learning. בדו"ח מופיעה טבלה ובה רשימת קורסי המשך במסגרת לימודים מתמשכים בתחומי הביוטכנולוגיה. בחזית המחקר והחינוך, DTU Biotech Learning Lifelong Learning מציעה סדרה של קורסי המשך חדשים המתמקדים במחקר וטכנולוגיה מתקדמים, ומותאמים במיוחד כדי לענות על הצרכים של מגזר הביוטק. הקורסים שלהם פותחו כשיתוף פעולה בין המחלקה לביו-הנדסה, המחלקה להנדסה כימית ומרכז נובו נורדיסק לקיימות ביולוגית. הרעיון הוא שעל ידי מיצוי הפוטנציאל האנושי, למידה לאורך החיים מכילה את המפתח לקיימות ולמתן מענה לצורכי העתיד. להלן טבלת הנושאים:

טבלה 14: רשימת הנושאים ב Biotech Lifelong Learning כפי שניתנים ב- Technical University of Denmark

מחיר קורס במטבע דני*	תיאור הקורס
20,000 DKK	Evaluating Sustainability for Bio-based Products
10,000 DKK	Upstream Process Development
10,000 DKK	Automation and Control of Yeast Fermentation
10,000 DKK	Introduction to Python for Data Analysis and Automation in Biology
10,000 DKK	Introduction to Chemical Modification of Protein Therapeutics
20,000 DKK	Process Analytical Technology for Biomanufacturing
22,000 DKK	cGMP for Biomanufacturing Operations

⁹² ראיונות/מענה לשאלון התקבל מ: פרופ' אבי שרודר, פרופ' יעל חנין ו ד"ר גינט לורוביץ.
⁹³ גץ דפנה, בוכניק ציפי, גלעד רוד, ברזני אלה, רווח איילת. תחזיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי דו"ח סופי – שנה ד' חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2021. <https://www.neaman.org.il/Technological-forecasting>
⁹⁴ <https://lifelonglearning.dtu.dk/en/biotech/>

10,000 DKK	Introduction to Python for Data Analysis and Automation in Biology
13,500 DKK	Introduction to Biomanufacturing 1
13,500 DKK	Introduction to Biomanufacturing 2
TBC	Cell Culture Engineering: A Single-Use Perspective
10,000 DKK	Industrial Mycology

* שער המטבע הדני עומד על – 1 כתר דני (DKK) = 0.51 שקל ישראלי שער זה נכון ליום 16 בפברואר 2023.

6.7 מצב קיים - הכשרות LLL בתחום Bio - Convergence

במיופי שערכנו בחלק א' של עבודה זו נמצאו שתי הכשרות LLL לתחום Bio - Convergence, העונות על הקריטריונים שנקבעו למחקר זה:

טכניון- קנאביס רפואי - יזמות טכנולוגית ועסקית, השלכות רפואיות ושיטות גידול⁹⁵

התוכנית המקיפה הראשונה בישראל לכלל הציבור בתחום הקנאביס הרפואי, הסוקרת את התחום ממגוון רחב של כיוונים (היסטורי-תרבותי-חוקתי, רפואי, כימי, עסקי, חקלאי, פיתוחי וכו') ע"י שורה ארוכה של מרצים בעלי שם בתחום. התוכנית נבנתה בשיתוף קבוצת הבימוד שייזים. המשתתפים בה יקבלו ידע נרחב וכלים מעשיים סביב הגשמת חזון עסקי בתחום הקנאביס הרפואי, החל משלב הרעיון ועד לחברה היוצרת שווי לבעליה. מטרת תכנית הלימודים: היכרות עם האספקטים השונים הקשורים לפיתוח מוצרים ותכשירים מבוססי קנאביס רפואי, ולמחקר והשקעות בתחום. הבנת הרקע המולטי דיסיפלינארי, המצב הקיים, האתגרים וההזדמנויות.

משך הקורס: 8 מפגשים 40 שעות אקדמאיות

קהל היעד: יזמים, רופאים, משקיעים, חוקרים, חברות תרופות, מומחים מתחום החקלאות, אנשי אקדמיה המעוניינים להשתלב בתחום או ללמוד עליו

האוניברסיטה העברית - מבוא לרפואה חישובית

הפקולטה לרפואה – האוניברסיטה העברית.

מטרות: לסקור מתודות חישוביות המשפיעות על עולם הרפואה לשם יצירה וחזוק של שיתופי פעולה בין מדענים המשתמשים במתודות חישוביות –רופאים חוקרים, אנשי בינה מלאכותית ומדעי הנתונים – לבין אנשי רפואה המעניקים שירותי רפואה בבתי החולים ובקהילה.

קהל יעד: אנשי מקצוע מתחומי הרפואה ומקצועות הבריאות השונים המעוניינים בנושא רפואה חישובית הניתן מטעם בית הספר ללימודי המשך של בית הספר לרפואה של האוניברסיטה העברית. בתום הלימודים והעמידה בדרישות יקבלו המשתתפים תעודת סיום מטעם הפקולטה לרפואה ומכון מגיד.

משך הקורס: 28 ש"א. קורס מקוון, למעט 2 מפגשים פרונטליים.

6.8 השלמות נדרשות - פער בין הצרכים לקיים

הכשרות LLL הקיימות כיום אינן עונות על צורכי ההכשרה בתחום (סעיף 3.5). כיום, רוב ההכשרה הנדרשת לתחום מתבצעת בחברות – On-the-job training.

תחומי השלמות נדרשים: הכשרה בכלים מתמטיים חישוביים ברמה גבוהה, רובטיקה לעולם הביולוגיה, רובטיקה רפואית, שילוב של טכנולוגיה, בפרט רובטיקה בביצוע ותכנון ניסויים, רקע

⁹⁵ קנאביס רפואי - יזמות טכנולוגית ועסקית, השלכות רפואיות ושיטות גידול - הטכניון - היחידה ללימודי המשך(technion.ac.il)

פיזיקאלי או בהנדסת חשמל, עם ראייה מולטי-דיסציפלינרית, רקע חזק באלקטרופיזיולוגיה, חיזוק הרקע הטכני של אנשים שמגיעים מהצד של מדעי החיים־רפואה, כדי שיכירו את העולמות של ביו-אינפורמטיקה, מדעי המחשב, גנטיקה וביולוגיה.

6.9 המלצות למדיניות בהכשרות LLL בתחום Bio – Convergence

ההכשרה הקיימת כיום לתחום ה-Bio – Convergence הינה חסרה מאוד ביחס לצרכים.

- יש צורך בהכשרה בכלים חישוביים וברובוטיקה לעולם הביולוגיה. יש צורך לכלול בלימודי ביולוגיה כלים מתמטיים וחישוביים ברמה גבוהה.

- נדרשת הכשרה באלקטרופיזיולוגיה. נדרשת הכשרה שתיתן רקע פיזיקאלי או בהנדסת חשמל, עם ראייה מולטי-דיסציפלינרית.

- הכשרות LLL לחיזוק הרקע הטכני של אנשים שמגיעים ממדעי החיים־רפואה, כדי שתהיה להם הכרות עם עולמות של ביו-אינפורמטיקה, מדעי המחשב, גנטיקה וביולוגיה.

- הכשרות לגבי שוק התרופות.

- נדרשת הכשרה בנושאים של הדפסה תלת ממדית

- נדרשת הכשרת מהנדסי אלקטרוניקה בנושאים ביולוגיים. זאת על מנת שתהיה להם שפה משותפת עם אנשי ביולוגיה.

- נדרשת הכשרה בתחומי הרגולציה. נושא זה חשוב ביותר לאור העובדה שכל הקשור בנושא של התקנים רפואיים והתקנים ביו-הנדסיים דורשים אישורים רגולטוריים של ה-FDA, EMA ובנוסף אישורים של כל מדינה בנפרד.

- לנושאים והכשרות נוספות נדרשות ניתן ללמוד מהכשרות הניתנות בחו"ל לדוגמא באוניברסיטת Technical University of Denmark בדנמרק (סעיף 3.6)

6.10 נספחים

6.10.1 נספח א- ניתוח תשובות לשאלון בתחום שילוב רב תחומי ביולוגיה, תוכנה והנדסה לעולם הרפואה (Bio - Convergence)

העונים:

1. CEO & Co-Founder Lempo - **Mr. Oren Glanz**
2. Key Executive Tamar Robotics - **Mr. Avi Turgeman**
3. CTO & Co-Founder GNX data systems (genoox) - **Mr. Moshe Einhorn**

1. מהי הדיסציפלינה האקדמית שבה קיבלו הכשרה המהנדסים שעובדים כיום בחברה שלך, ואיזה הכשרה נוספת נדרשת לצורך פעילות החברה בתחום ה-ביו-קונברג'נס?

- ביולוגיה
- מכאניקה
- מדעי המחשב
- אלקטרוניקה
- בקרה
- ביו-רפואה
- ביו-אינפורמטיקה
- גנטיקה
- הכשרות נוספות זה רקע באנטומיה (הדרכות, השתתפות בניתוחים)

2. האם ניתנת לעובדי החברה שלך הכשרה בתחום ה-ביו-קונברג'נס (בתוך החברה או הכשרה חיצונית)? במידה וכן איזה הכשרה?

- רק הכשרות נדרשות בתחום התמחותם
- בעיקר למידה מסרטי הדרכה וצפייה בניתוחים
- כן, הכשרה בתוך החברה ובעיקר הכשרה תוך כדי עבודה

3. האם קיימים צורכי הכשרת כוח אדם בתחום ה-ביו-קונברג'נס שאין להם כיום מענה?

- אופי העבודה של חוקרים במדעי החיים שונה מהותית מזה של מהנדסים בעולם הטכנולוגי. מושגים כמו פיתוח agile מנוגדים לחינוך שקיבלו ולשיטות העבודה שלהם. נדרשת הכשרה שלהם לעבודה בסביבות פיתוח מהיר ובמתודולוגיות מתאימות.
- בתחום הרובוטיקה הרפואית. זה בעיקר התפקיד של איש האפליקציה או מנהל המוצר והעשרה חשובה ליתר המהנדסים על מנת להבין את המוטיבציה ושיפור תהליך פיתוח המוצר.
- נבנו כבר תשתיות הכשרה פנימיות בחברה אז כרגע אין צורך.

4. האם צפוי שינוי בהכשרות שיידרשו לכוח האדם בתחום זה בעתיד הקרוב מבחינת כמות ו/או סוג הכשרה והאם נדרשת היערכות/ התאמת ההכשרות לקראת שינויים אלו?

- לא כרגע.
- צריך לחזק מאוד את הרקע הטכני של אנשים שמגיעים מהצד של מדעי החיים\רפואה, כדי שיבואו פתוחים ומכירים יותר את העולמות של ביו-אינפורמטיקה, מדעי המחשב, גנטיקה וביולוגיה.

7. רפואה מדייקת וגנומיקה

7.1 רקע

"רפואה מותאמת אישית", הופכת למציאות במחלות מסוימות ובתחומי רפואה לא מעטים. מערכות הבריאות בעולם נדרשות לשינויים ופעולות על מנת להתאים טיפול או תרופה למטופל על פי המאפיינים הגנטיים והביולוגיים הייחודיים שלו ושל מחלתו. זוהי רפואה מודרנית הנתפרת למידות החולה ונותנת מענה ממוקד מטרות, והיא אף עשויה לחסוך עלויות כבדות למערכת הבריאות.

רפואה מדייקת מבטיחה שינוי פרדיגמה בטיפול הרפואי. גישה זו מצמצמת את הצורך באבחנות משתנות ואסטרטגיות טיפול המבוססות על דמוגרפיה כללית. היא מאפשרת מבט הוליסטי יותר על המטופל. גישות של רפואה מותאמת אישית מבוססות על מינוף של נתונים ממקורות ישירים ועקיפים. היישום של גישות הרפואה המדייקת, מבוסס על תהליך של אבחון דיפרנציאלי המאפשר צמצום של חוסר יעילות שמתבטא בטעויות באבחון, במתן טיפולים מיותרים, במינון יתר או בחסר של תרופות וכדו'.

הרפואה המדייקת מבוססת על מגוון רחב של תחומים מדעיים וטכנולוגיות. התחום כולל נושאים רבים שפעמים רבות נושקים זה לזה: פיתוח טכנולוגיות לניתוח נתונים מתחומי הביולוגיה כגון גנומיקה, פרוטאומיקה או מטבולומיזם, גנומיקה שקשורה למחלות הסרטן ומניעתו, נושאים הקשורים לכיו-בנק ודיאגנוסטיקה מולקולארית, הדמיה ועוד.

בשנת 2003 הצליחה קבוצה של חוקרים ממרכזים שונים בעולם להרכיב את רצף הדנ"א של האדם. מאז פותחו טכנולוגיות רבות לריצוף דנ"א המאפשרות לבנות מטען גנטי בזמן קצר מאוד. בעקבות גילויים אלה התפתח תחום הידע "פרמקוגנומיקה", העוסק בהתאמת תרופות על פי הגנום של האדם הספציפי. לחברות התרופות הגדולות יש אינטרס בהתפתחות של התחום הזה ולכן הן משקיעות במחקרים אלה סכומים הולכים וגדלים. כיום, כאשר השכיחות למחלת הסרטן עולה, עיקר המחקר עוסק בהתאמת תרופות לאונקולוגיה על ידי ניתוח המטען הגנטי והשינויים שחלים בו בעקבות מחלת הסרטן. בשנים האחרונות חל שינוי בטיפול שניתן לחולים אונקולוגים, מטיפול שנקבע בעיקר על פי סוג הסרטן, לביצוע אבחונים מתקדמים על בסיס רצף הדנ"א של הגידול עצמו, שמאפשרים אבחון מדויק יותר של סוג הסרטן והתאמה של תרופה מדויקת יותר – מותאמת אישית⁹⁶.

רפואה מדייקת מהווה הזדמנות ייחודית לשפר את בריאות האוכלוסייה ולשפר טיפולים למניעת מחלות ובמקביל להקטין את הוצאות הבריאות. עם זאת, פיתוח של רפואה מדייקת מביא אתגרים כלכליים, כגון: פיתוח יקר, שיעורי כישלון גבוהים וגודל שוק קטן יותר בהשוואה למודל המסורתי. הרפואה עוברת מגישה בה טיפול אחד מתאים לכולם ("one size fit all") לשלב ביניים – "רפואה מרובדת", שבה על מנת לתת טיפול לחולים, הם מסווגים לקבוצות על פי תת סוגי המחלה, פרופיל הסיכון האישי, דמוגרפיות, סוציאקונומיות, מדדים קליניים, ביו מרקרים ועוד והטיפול ניתן על-פי קבוצת השייכות. העתיד הוא להגיע לרפואה מדייקת בה כל אדם יקבל טיפול המותאם לו על פי הנתונים האישיים שלו כגון: גנומיקה, סגנון חיים, היסטוריה רפואית, רשומות רפואיות, העדפות וכדו'.

בישראל לא קיימת מדיניות ברורה בנושא רפואה מותאמת אישית. יש צורך בקידום הנושא בין היתר על ידי קביעת מדיניות, שינויים רגולטורים, התאמות בעשייה הקלינית, מציאת דרכים למימון תרופות

⁹⁶ הרפואה הבלתי נמנעת, ד"ר נועם שומרון מתוך גיליון 23 אודיסאה <https://www.teva.co.il/globalassets/teva-il/articles-migration/teacher/odyssey/odyssey-23.pdf>

מותאמות אישית ובדיקות גנטיות ואפיון מולקולרי שיאפשר מיפוי מדויק של כל השינויים הגנומיים ב-DNA של החולה ויביא להתאמת טיפול אישי לכל חולה.⁹⁷

למרות ההתקדמות המבטיחה והפוטנציאל הרב העומד בבסיס הרפואה המותאמת אישית, עדיין עומדים מספר קשיים המונעים התרחבות מהירה יותר של שיטות אלו ברפואה היום יומית. הבדיקות הגנטיות עדיין יקרות למדי, דורשות מכשור וכוח אדם מיומן ואינן ניתנות לביצוע באופן מהיר לכל דורש. כדי להפוך את שיטות הבדיקה האלו לזמינות לכל נפש יש צורך בהזלה משמעותית נוספת של הבדיקות. בנוסף, עדיין חסר מידע רב אודות הקשר בין גנים ושינויים בגנים לבין המשמעות הרפואית המעשית של שינויים אלו. אילו שינויים קשורים לאילו מחלות? מתי שינוי בגן משפיע על פעילותה של תרופה בגוף? שאלות אלו קיבלו עד כה תשובות חלקיות בלבד.

7.2 מערכות תומכות החלטות רפואיות המבוססות על Big Data⁹⁸

אחד השימושים בתחומי הבינה המלאכותית נוגע לניצול מידע רפואי רב לטובת מערכות תומכות החלטות רפואיות בזמן אמת (Roosan et. all., 2016).⁹⁹ מידע רפואי רב נשמר בתצורות שונות לדוגמא, במאגרי המידע של בתי חולים או מרפאות באופן אלקטרוני כ- Electronic health records (Lee & Yoon, 2017)¹⁰⁰ והוא משמש לבניית בסיסי מידע גדולים עליהם ניתן לבצע אנליזות ופרדיקציות שונות לטובת סיוע לרופאים בזמן אמת.

ל-Big Data יתרון בניתוח מידע רב, המשמש לרפואה מותאמת אישית (Broes et. all., 2018).¹⁰¹ פיתוחים שונים מאפשרים כיום, בהסתמך על מידע רפואי גנומי נרחב ומידע מהספרות הרפואית, להציע טיפול תרופתי ספציפי לחולה סרטן, בהסתמך על הפרופיל הגנטי-מולקולארי שלו (IBM Watson Health). פיתוחים אחרים בתחום הבינה המלאכותית וה-Big Data נוגעים לניטור בזמן אמת וחישה של נתונים רפואיים אישיים במסגרת הקהילה, על מנת לצפות מראש ובזמן אמת אפשרויות של שינוי במצב הרפואי הדורש התערבות (Jiang et al., 2017; Villar et. al., 2015)¹⁰² או בעיות לב (Hsieh, Li, & Yang, 2013).¹⁰³

שימוש נוסף ב-Big Data נעשה בתחום הקליני ובפיתוח תרופות. שימושים אלו כוללים לדוגמה, זיהוי של סימנים ביולוגיים (Biomarkers) המשויכים למחלות מסוימות, זיהוי קשר בין מחלות בהסתמך על מספר רב של נתונים רפואיים וזיהוי מסלולים גנטיים ומולקולריים הגורמים לפתולוגיות שונות. זיהוי מסלולים אלו עשוי לשפר את ההבנה של הגורם למחלה ולאפשר פיתוח ממוקד יותר של תרופות (Hamada et. al., 2017; Singh et. al., 2017).¹⁰⁴

⁹⁷ <https://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-4931375,00.html>

⁹⁸ חלק זה של העבודה לקוח מתוך מחקר של מוסד שמואל נאמן בנושא בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה: ג' ד, כ' שחם. א, קליין, ר. צזנה, ר. רוזנברג, ש. ואחרים (2018). בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה: דו"ח ראשון - שלב ב'. חיפה: מוסד שמואל נאמן.

⁹⁹ Roosan, D., Samore, M., Jones, M., Livnat, Y., & Clutter, J. (2016). Big-Data Based Decision-Support Systems to Improve Clinicians' Cognition. In 2016 IEEE International Conference on Healthcare Informatics (ICHI) (Vol. 2016, pp. 285–288). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICHI.2016.39>

¹⁰⁰ Lee, C. H., & Yoon, H.-J. (2017). Medical big data: promise and challenges. *Kidney Research and Clinical Practice*, 36(1), 3–11. <https://doi.org/10.23876/j.krccp.2017.36.1.3>

¹⁰¹ Broes, S., Lacombe, D., Verlinden, M., & Huys, I. (2018). Toward a Tiered Model to Share Clinical Trial Data and Samples in Precision Oncology. *Frontiers in Medicine*, 5, 6. <https://doi.org/10.3389/fmed.2018.00006>

¹⁰² Jiang, F., Jiang, Y., Zhi, H., Dong, Y., Li, H., Ma, S., ... Wang, Y. (2017). Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke and Vascular Neurology*, 2(4), 230–243. <https://doi.org/10.1136/svn-2017-000101>

Villar, J. R., González, S., Sedano, J., Chira, C., & Trejo-Gabriel-Galan, J. M. (2015). Improving Human Activity Recognition and its Application in Early Stroke Diagnosis. *International Journal of Neural Systems*, 12(4). <https://doi.org/10.1142/S0129065714500361>

¹⁰³ Hamada, T., Keum, N., Nishihara, R., & Ogino, S. (2017). Molecular pathological epidemiology: new developing frontiers of big data science to study etiologies and pathogenesis. *Journal of Gastroenterology*, 52(3), 265–275. <https://doi.org/10.1007/s00535-016-1272-3>

7.3 תעשיית הגנומיקה והרפואה המותאמת אישית בישראל

בישראל שיעור ההוצאה הלאומית למו"פ כאחוז מהתמ"ג הוא הגבוה ביותר בהשוואה בינלאומית בעשרים השנה האחרונות והוא מתקרב ל-5% מהתמ"ג, אך רוב המימון והביצוע של המו"פ מתבצע במגזר העסקי. תחומי הבריאות בישראל נעדרים השקעות הן ממשלתיות והן מגורמים בינלאומיים. בהשוואה למדינות ה-OECD, ישראל נמצאת בתחתית הרשימה בתמיכה הממשלתית במחקר בתחומי הבריאות.

על פי דו"ח רשות החדשנות 2018-2019¹⁰⁵, שינויים טכנולוגיים משמעותיים בעשור האחרון מהווים נקודת מפנה של תעשיית הביופארמה העולמית ומהווים עבור ישראל הזדמנות לפתח את תחום הרפואה המותאמת אישית בארץ ולהשתלב בתעשייה העולמית. תעשיית הביופארמה (שרפואה מותאמת אישית מהווה חלק ממנה) בישראל מאופיינת במחקר שנעשה בארץ אך הפיתוח שלה נעשה בחו"ל על ידי חברות זרות. הטענה היא כי ישראל לא מימשה את הפוטנציאל המדעי הגדול שלה ושהמשק הישראלי הפסיד מכך.

על פי הדו"ח, לישראל יש מספר יתרונות שאותם היא צריכה למנף על מנת לקדם את תחום הרפואה המותאמת אישית:

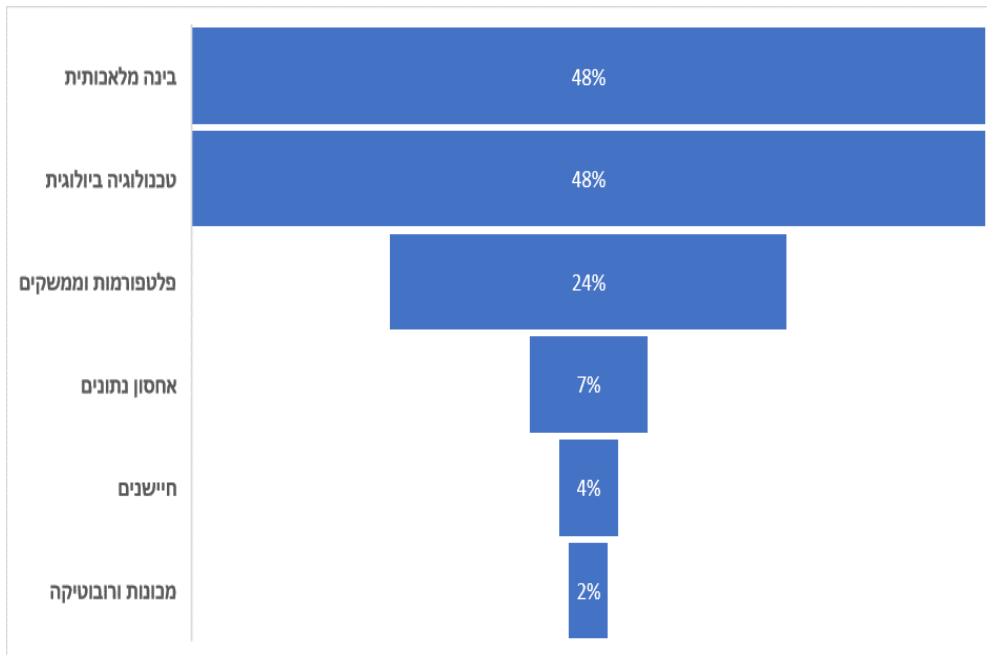
- מצוינות אקדמית מדעית. קהיליית המדע בישראל מצטיינת בחקר הסרטן, באימונולוגיה ובחקר מחלות ניווניות, תחומים שנמצאים כיום במוקד פיתוח טיפולים בגישת הרפואה המותאמת אישית.
- בישראל קיים מידע רפואי וגנומי ייחודי שנובע מכך שהאוכלוסייה בישראל מאופיינת בקבוצות ייחודיות בשטח גאוגרפי קטן. עובדה זו הופכת את ישראל ל"מכרה זהב" גנומי.
- הזדות למערכת הבריאות הריכוזית בישראל (אזרחי ישראל מבוטחים בארבע קופות חולים שפועלות כיום בישראל: כללית, מכבי, מאוחדת ולאונית) והרשומות הרפואיות האלקטרוניות (EHR), שקיימות כבר משנות ה-80, מכסות את רובה המוחלט של האוכלוסייה.
- ישראל מובילה בתחומי היי-טק בנושאים כגון: טכנולוגיות המידע, big data וחישוביות המאפשרים שימוש במידע רפואי וגנומי לטובת פיתוחים בתחומים של רפואה מותאמת אישית.

נכון ל-8/3/2023 היו בישראל 83 חברות טכנולוגיה שתויגו במאגר ה-Startup Nation Central Finder בלפחות אחת מהתגיות הבאות: precision-medicine, personalized-medicine או genomics. עד שנת 2013 הוקמו 26 חברות המהוות כשליש מהחברות שהוקמו עד היום. בשנים 2014 עד 2021, הוקמו 56 חברות כאשר שנת השיא הייתה 2017 בה הוקמו 10 חברות. בשנת 2022 הוקמה רק חברה אחת. מאחר ופיתוח בתחום הרפואה דורש בדרך כלל משאבים והשקעה כספית גדולה, יתכן שהסיבה לכך היא שלתחום זה נכנסות חברות גדולות ולא דווקא חברות הזנק.

הטכנולוגיות העיקריות של החברות האלה מתמקדת בשלוש טכנולוגיות עיקריות: בטכנולוגיות ביולוגיות, בינה מלאכותית ופלטפורמות וממשקים. האיור הבא מציג את הטכנולוגיות העיקריות של חברות בתחום (האחוזים אינם מסתכמים ל-100% מאחר ולחברה יכולים להיות מספר טכנולוגיות).

¹⁰⁵ דו"ח רשות החדשנות 2018-2019 : רפואה מותאמת אישית
<https://innovationisrael.org.il/InnovationRapport18/BiopharmaIndustry#5>

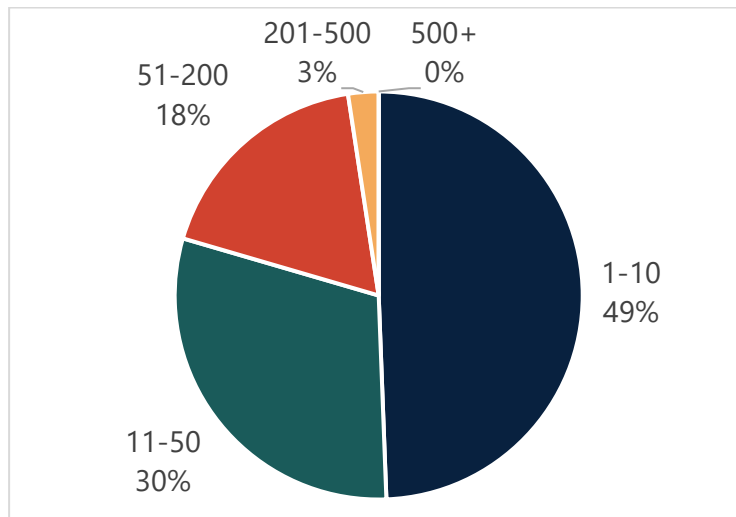
איור 18: הטכנולוגיות העיקריות של חברות בתחום רפואה מדייקת



מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

מחצית מהחברות הן חברות קטנות שיש בהן עד 10 עובדים. 30% מהחברות מונות בין 11 ל-50 עובדים, 18% הן חברות גדולות המעסיקות 50 עד 200 עובדים. אחוז החברות המעסיקות בין 200-500 עובדים נמוך ועומד על 3%. לא נמצאו חברות ענק בתחום זה שמעסיקות מעל 500 עובדים.

איור 19: חברות בתחום רפואה מדייקת לפי מספר עובדים



מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

מטבע הדברים חלק גדול מהחברות נמצא בשלבים התחלתיים. בהסתכלות על התפלגות החברות לפי Funding Stage מבחינת שלב המימון: 59% מהחברות בתחום נמצאות בשלבים ההתחלתיים של Pre-Funding; pre-Seed ו-Seed. 27% נמצאים בסבבי גיוס שונים G-A. 12% מהחברות הן חברות Mature או Public – דבר שיכול להצביע גם על קיומן של חברות בוגרות יותר.

7.4 תשתיות בתחום רפואה מותאמת אישית

בשנת 2018 הממשלה אישרה את "התוכנית הלאומית לבריאות דיגיטלית"¹⁰⁶. התוכנית תוקצבה בסכום של 922 מיליון שקלים לחמש שנים וכללה פיתוח טכנולוגיות, קידום שיתופי פעולה בינלאומיים, ריכוז מאמץ אקדמי ותעשייתי, ועידוד מחקר ב-Data¹⁰⁷. במשרד הבריאות מאמינים כי הקמת תשתיות ארגוניות, תהליכיות וטכנולוגיות והטמעת מדיניות של קידום חדשנות מערכתית יביאו לטיפול מותאם אישית. מיזם פסיפס הוא חלק מתוכנית זו.

מיזם פסיפס¹⁰⁸ - תשתית מידע לאומית למחקרי בריאות בתחום הגנטיקה והמידע הרפואי עבור פיתוח פתרונות של רפואה מותאמת אישית. הגישה מאפשרת להתאים לכל חולה את הטיפול האפקטיבי ביותר עבורו, קיבוץ מידע על מחלות שונות בהרכבי אוכלוסייה מיוחדים, באמצעות ניתוח מעמיק של נתוני עתק (Big Data), למניעה ולטיפול במחלות והקמת בנק דגימות לצרכי טיפול ומחקר.

רשות החדשנות משקיעה ומעודדת גם היא את תחום הרפואה המותאמת אישית. בדו"ח של רשות החדשנות לשנת 2018-2019 צוין כי רשות החדשנות, במימון משותף עם מטה ישראל דיגיטלית במשרד לשוויון חברתי, פועלת להקמת איגוד משתמשים לבריאות דיגיטלית. המטרה שישתתפו באיגוד חברות הזנק, חברות בינוניות וגדולות וחברות רב-לאומיות, והוא ישמש להקמת מערך לשיתוף מידע רפואי קיים וחדש ויגבש תשתית רגולציה ואבטחת מידע.

המרכז הישראלי הלאומי לרפואה מותאמת אישית על-שם ננסי וסטיבן גרנד במכון ויצמן - בשנת 2012 הוקם במכון ויצמן המרכז הישראלי הלאומי לרפואה מותאמת אישית. המרכז שואף לקדם את תחום הרפואה המותאמת אישית. במרכז מאוגדים תחת קורת גג אחת צוות מחקר מיומן ותשתיות מתקדמות שמשמשים מדענים לביצוע מחקרים רחבי היקף של הגנום ואוכלוסיית החלבונים התאית. מחקרים אלה מספקים מידע רב על מחלות ועל הגורמים התורמים להתפתחותן. המכון מספק שירותי רצף של הדור הבא (NGS) באמצעות פלטפורמת הטכנולוגיה של Illumina והכנת מדגם תוך שימוש בפרוטוקולים פנימיים ופרויקטים מסחריים שונים. המכון מציע שירותי מודולרי "בשיטת הכל כלול". החל מעיצוב הפרויקט, התייעצות על סוג הכנת המדגם, רצף וניתוח נתונים בפלטפורמת הביו-אינפורמטיקה.

מרכיב מרכזי במכון מוקדש לפיתוח פרוטוקולים חדשים וליישום פרוטוקולים של חוקרים אחרים במכון ויצמן וביצוע שיתופי פעולה ברחבי העולם. בנוסף, המרכז מספק לכלל המשתמשים: חוקרים מהאקדמיה, מבתי החולים ומתעשיות הביוטכנולוגיה והפרמה בישראל, את הכלים הנדרשים לסריקת ספריות כימיקלים למציאת חומרים בעלי השפעה על פעילותן של מולקולות (כגון חלבונים) או מנגנונים ביולוגיים, תחום מחקר שבמקרים רבים מוביל לפיתוח תרופות חדשות. מטרת המכון להפוך למרכז גנום מוביל המשתמש בטכנולוגיות מתקדמות ובשיטות חדשניות לקידום מחקר רפואי בסיסי ומתקדם בישראל באמצעות שיתופי פעולה מדעיים שונים.

הקרן הלאומית למדע - הקרן הלאומית למדע הקימה בשנת 2015 תוכנית משותפת לקרן הלאומית למדע, למרכז לרפואה מותאמת אישית במכון ויצמן למדע ולטכניון ("יד הנדיב" תרמו תרומה ייעודית לתוכנית זו). התוכנית נפתחה כחלק מפעילות הקרן לחיזוק, לתגבור ולהנגשה של תשתיות מחקר חיוניות לחוקרים בקהילייה האקדמית בארץ. התוכנית מיועדת לחוקרים בעלי מענקי מחקר פעילים באחת מתוכניות הקרן, המבקשים לקבל שירותים מהמרכז הישראלי הלאומי לרפואה מותאמת

¹⁰⁶ <https://www.health.gov.il/About/projects/DigitalHealth/Pages/default.aspx>

¹⁰⁷ <https://www.calcalist.co.il/articles/0,7340,L-3735105,00.html>

¹⁰⁸ הנתונים לגבי התשתית התקבלו: מאילן פלד, ד"ר אביב זאבי, ד"ר אמיר פורת, זירת תשתיות טכנולוגיות רשות החדשנות, משרד הכלכלה. מד"ר אורה דר, יועצת של הרשות לחדשנות במשרד הכלכלה, הערוץ לתשתיות.

אישית (INCPM). השירותים הניתנים במסגרת תוכנית זאת מתבססים על 4 פלטפורמות טכנולוגיות (גנומיקה, ביואינפורמטיקה, פרוטאומיקה וסריקות).

רפואה ממוקדת אישית (רמ"א)¹⁰⁹ הינה תוכנית נוספת של הקרן הלאומית למדע, שמטרתה לקדם מחקר חדשני ופורץ דרך בישראל, שיביא להבנה מעמיקה של ביולוגיה של האדם ושל מנגנונים המעורבים במחלות אנושיות. התוכנית מתמקדת במחקר ישיר של הביולוגיה והרפואה של האדם, שעניינו שונות ביולוגית שכוללת הבדלים מולקולריים ואחרים, עיבוד מידע רפואי ודגימות רפואיות, ושל תוצאותיו פוטנציאל להשפיע על בריאות וחולי. התוכנית כוללת היבטים כגון זיהוי גורמי סיכון למחלה, אבחון מחלות, טיפול, רפואה מונעת ועוד, ומעודדת פיתוח טכנולוגיות רלבנטיות. התוכנית באה לקדם מחקר בתחום הרפואה הממוקדת אישית בישראל, לעודד שיתוף פעולה בין חוקרים במוסדות להשכלה גבוהה בארץ, רופאים מתחומי ידע והתמחות מגוונים וארגוני הבריאות השונים בארץ, לעודד שיתופי פעולה רב-תחומיים, למשל בין חוקרים העוסקים בביו-רפואה ניסויית ותאורטיקנים, ביולוגים חישוביים, אנשי מדעי המחשב ומדעי הנתונים, מהנדסים, פיסיקאים, כימאים, סטטיסטיקאים, אפידמיולוגים, גנטיקאים ואחרים ופיתוח ושכלול גישות ושיטות ניתוחיות אנליטיות וחשובות חדשניות לקידום המחקר בתחום הרפואה הממוקדת אישית. התוכנית מבוססת על איגום משאבים של הוועדה לתכנון ותקצוב (ות"ת), ישראל דיגיטלית, והגופים הפילנטרופיים: יד הנדיב וקרן משפחת קלרמן.

7.5 תחומי תואר/ידע בסיסי רלוונטי בתחום רפואה מדייקת

כיום הנושא נכלל בטכניון בפקולטה למדעי המחשב, בירושלים במדעי המוח ובאוניברסיטת ת"א יש מסלול ייעודי לתחום. הדיסציפלינות הנדרשות לתחום הרפואה המדייקת הן: **הנדסה ומדעי המחשב, רפואה, מדעי הרפואה, הנדסה ביו-רפואית, גנטיקה, ביולוגיה, ביוטכנולוגיה, הנדסת פרמצבטיקה – תרופות, גנומיקה וביואינפורמטיקה וגם הנדסת חשמל ופסיכולוגיה קוגניטיבית.** מספר הבוגרים במקצועות אלה נשאר ללא שינויים משמעותיים בשנים האחרונות. בתחומי הלימוד: הנדסת פרמצבטיקה – תרופות, גנומיקה וביואינפורמטיקה וגנטיקה – מספר הבוגרים עומד על עשרות בודדות.

7.6 הכשרת כוח אדם לעבודה בתחום רפואה מדייקת

במסגרת מחקר קודם שנערך במוסד שמואל נאמן ועסק בהכשרה לתארים אקדמיים בתחום נערכו ראיונות¹¹⁰ והועברו שאלונים¹¹¹ שמהם עלה שאין כיום מענה מספק לצרכי כוח האדם הנדרש בישראל לתחום הרפואה המדייקת והגנומיקה. התחום הפך לרב תחומי יותר מבעבר ודורש מיומנות רחבה יותר. נדרש ידע חישובי, הבנה בביולוגיה ורפואה, בפרוטאומיקה, טרנסקריפטומיקה, ומטבולומיקה, ובתחומים נוספים. כלומר ידע רב תחומי וידע חישובי, ביולוגי, פיסיקאלי, ביוכימי, כימי, פרמקולוגי ועוד. ההכשרה בארץ צרה מכדי לענות על צרכי הפעילות שהיא רב תחומית בעיקרה. למשל, מעט מאוד

¹⁰⁹ <https://www.isf.org.il/#/support-channels/46/10>

¹¹⁰ במסגרת המחקר נערכו תשעה ראיונות. רואיינו אנשים ממגזרים שונים, מנהלי מחלקות בבית חולים, דיקני הפקולטות לרפואה, מנהלי מעבדות, ראשי חברות, מנהלי מרכזיים רפואיים:

1. פרופ' אריה אדמון - מנהל מרכז סמולר לפרטאומיקה בטכניון.
2. פרופ' אליעזר שלו - דיקאן לשעבר של הפקולטה לרפואה בטכניון.
3. פרופ' ישי אופרן - מנהל אשפוז המטולוגי ומנהל שירות טיפול בלוקמיות במערך ההמטולוגי ברמב"ם.
4. פרופ' ניר פרידמן - חוקר במחלקה לאימונולוגיה במכון ויצמן.
5. פרופ' גדי רנטר - מנהל המרכז הארצי לבקרת סרטן והתוכנית לרפואה מותאמת אישית בכללית.
6. פרופ' רון שמיר - מקימיי מרכז ספרא לביו-אינפורמטיקה בת"א.
7. פרופ' דני ברקוביץ - ראש התוכנית לתואר שני בביוטכנולוגיה במכללה האקדמית תל חי.
8. פרופ' שי שן-אור - המייסד והמדען הראשי של CytoReason ופרופסור בפקולטה לרפואה בטכניון.
9. פרופ' קרל סקורצקי - דיקן של הפקולטה לרפואה ע"ש עזריאלי באוניברסיטת בר-אילן (בצפת).
- ¹¹¹ ענו על השאלונים: פרופ' אריה אדמון, פרופ' רון שמיר, פרופ' ישי אופרן, פרופ' אליעזר שלו ופרופ' שי שן-אור.

מהעוסקים במדעי החיים או הרפואה הם בעלי יכולת תכנותית או חישובית, הידע של רוב הבוגרים בסטטיסטיקה אינו מספק, וההבנה של הכלים הטכנולוגיים לא מספיק עמוקה. לכן הרבה מהעוסקים בתחום אינם מבינים את מהות התוצאות. בנוסף, לא מספיק רופאים נחשפים לנושא בלימודיהם.

במחקר הנוכחי הועבר שאלון לחברות¹¹² לגבי צרכי לימוד לאורך החיים בתחום רפואה מדייקת. עולה שכרוב החברות שענו לשאלון לא ניתנת הכשרה ספציפית לתחום הרפואה המדייקת והגנומיקה והן אינן רואות בשלב זה צורך בלימוד לאורך החיים בתחום.

- שתי הכשרות פנימיות שצוין שניתנות בחברות:

- הכשרה בנושא -embedded mindset- שינוי חשיבה על ידי הסתכלות על השוני האינדבידואלי.
- הכשרה בתחומי הרגולציה וניהול פרויקטים.

יתכן שהיות שמדובר בתחום חדש יחסית, המעסיקים רואים בשלב זה שהמענה הנדרש צריך להינתן במסגרת הלימודים האקדמאיים ואין כרגע מיקוד בצרכים שיכול להינתן לעובדים באמצעות הכשרות LLL. סיכום ממצאי השאלון מופיע בנספח לחלק זה.

7.7 צרכי התעשייה להכשרות LLL בתחום רפואה מדייקת וגנומיקה

המענה לשאלון במחקר זה ברובו היה שאין כיום צורך נראה להכשרות בנושא. הנושא היחיד שצוין היה תהליכי מסחור ופיתוח עסקי.

7.8 מצב קיים – הכשרות LLL בתחום רפואה מדייקת וגנומיקה

לימודי המשך מתקדמים ברפואה מתקיימים בית ספר ללימודי המשך מתקדמים בטכניון. הקורסים מגוונים וההכשרות נעות בין 120-20 שעות. מטרת הלימודים להשבת הידע הרפואי וחשיפת הרופא המתמחה והמומחה לחידושים ועדכונים.

על השאלה האם צפוי שינוי בהכשרות שיידרשו לכוח האדם בתחום זה בעתיד הקרוב מבחינת כמות ו/או סוג הכשרה והאם נדרשת היערכות/ התאמת ההכשרות לקראת שינויים אלו. חלק מהמשיבים לשאלון ענו שבעיקר נדרשת הכשרה ברב תחומיות. העתיד הולך לכיוון של אינטגרציה ולכן ההכשרות צריכות לעסוק בהיבטים בין תחומיים ובכללם ניהול, יחסי אנוש, מחשוב, כלי בינה מלאכותית והגנות סייבר.

7.9 מסקנות ותובנות לגבי צרכי כוח אדם לרפואה מדייקת וגנומיקה

מהעבודה עולה שאין מענה מספיק לצרכי כוח האדם הנדרש בישראל לתחום הרפואה המדייקת והגנומיקה. התחום הפך להיות רב תחומי יותר מבעבר ודורש מיומנות רחבה יותר כדי לפעול בתחום. נדרש מהעוסקים בתחום ידע רב תחומי וידע חישובי, ביולוגי, פיסיקאלי, ביוכימי, כימי, פרמקולוגי, ועוד. הנטייה בארץ ללמד ולהכשיר אנשים היא צרה מדי מכדי לענות לצרכים.

¹¹² ענו על השאלון:

קציר איתי- חברת Cordio Medical
תמי אליסון - CEO/founder חברת Conflu3nce Health AI
אייל הייטמן - מנהל השיווק בחברת Sensomedical
שי ירקוני – מנכ"ל ומייסד Collect Biotherapeutics
אור רותם- סמנכ"ל טכנולוגיות Alagene - Synthetic Biology Company
שרון לפלר - סמנכ"ל מחקר ופיתוח QULAB

כוח האדם הנדרש לתחום רפואה מותאמת אישית הוא מולטי-דיסציפלינרי וכולל ממגוון מקצועות: ביולוגים, רופאים, אנשי מחשבים, ובתוך כל אלה תתי התמחויות. הנדסה ומדעי המחשב, רפואה, מדעי הרפואה, הנדסה ביו-רפואית, גנטיקה, ביולוגיה, ביוטכנולוגיה, פרמצבטיקה, גנומיקה, פרוטאומיקה, ביואינפורמטיקה, ביג-דאטה וסטטיסטיקה, חישוביות.

- צוואר הבקבוק הוא בכוח אדם בעל מיומנויות מולטי-דיסציפלינריות לתחום רפואה מותאמת אישית. חסרים אנשים שיש להם ידע גם במדעי החיים וגם חשיבה כמותית.
- קיים מחסור באנשי ביו-אינפורמטיקה לצורך למחקר וניתוח נתונים רפואיים.
- התחום מתבסס במידה רבה על ניתוח נתוני עתק רפואיים (ביג-דאטה). למרות היתרון הרב של מאגרי המידע הרפואיים בישראל, עדיין חסרים נתונים רבים שכלל אינם נאספים ע"י הרופאים וחסר לרופאים המטפלים כיום ידע כיצד להשתמש במידע רפואי שכבר קיים בתחום.

כיווני חשיבה והמלצות מכל האמור לעיל:

1. התחום של רפואה מדייקת וגנומיקה נופל בין הכסאות ואין למעשה גוף מקצועי המקדם את הידע המשולב הנדרש בגנטיקה, המטולוגיה ואונקולוגיה טכנולוגית מעבדה והנגזרות שיש לעניין בתחום בריאות הציבור. חסרה הכרה בתחום ככזה שנדרשות תוכניות העשרה והכשרה מקצועית להמטולוגים ואונקולוגים.
2. נדרשת הכשרה בין תחומית בביו-אינפורמטיקה, AI והכרת עולם הרפואה המעשי, שתביא ליותר הבנה של היכולות והמגבלות של היכולות החישוביות עבור תלמידי רפואה ולרופאים בקליניקות ובבתי החולים ויותר דגשים על הצד הרפואי בלימודי ביואינפורמטיקה.
3. הכשרת אנשים בעלי ידע מולטי-דיסציפלינרי לתחום. ההכשרה דורשת גם מדעים מדויקים וגם מדעי החיים (כולל רפואה) לפחות ברמה של דוקטורט ובתר דוקטורנט. הכנסת חשיבה כמותית לתוכניות לימודים בביולוגיה ורפואה וגם בחשיפת סטודנטים לביו-רפואה למקצועות ההנדסיים. התאמות אלה יכשירו דור חדש שידע לתכנת, לשאול את השאלות המתאימות, להציע רעיונות חדשניים, לאסוף ולנתח את הנתונים. ניתן ללמוד מתוכניות הלימודים של מוסדות אקדמיים בארה"ב שהכניסו תוכניות כאלה כדוגמת סטנפורד.

יתכן שהיות שמדובר בתחום חדש המעסיקים רואים בשלב זה שהמענה הנדרש צריך להינתן במסגרת הלימודים האקדמיים ואין כרגע מיקוד בצרכים שיכול להינתן להם מענה באמצעות הכשרות LLL כגון תוכניות הכשרה לרופאים Lifelong Learning שיכללו העשרה בתחומי הרפואה המותאמת אישית. התחום מתקדם ומתפתח ויש צורך בהעשרת הידע של הרופאים בכל החידושים בתחום. למשל התמחות ב- Medical Information בשאלות של מסדי נתונים רפואיים. העתיד הולך לכיוון של רב תחומיות ואינטגרציה ולכן ההכשרות צריכות לעסוק בהיבטים בין תחומיים ובכללם ניהול, יחסי אנוש, מחשוב, כלי בינה מלאכותית והגנות סייבר.

7.10 נספחים

7.10.1 נספח א- ניתוח תשובות לשאלון בתחום רפואה מדייקת

העונים:

1. קציר איתי- חברת Cordio Medical
2. תמי אליסון - CEO/founder- חברת Conflu3nce Health AI
3. אייל הייסמן - מנהל השיווק בחברת Sensomedical
4. שי ירקוני – מנכ"ל ומייסד Cellect Biotherapeutics
5. אור רותם- סמנכ"ל טכנולוגיות Alagene - Synthetic Biology Company
6. שרון לפלר - סמנכ"ל מחקר ופיתוח QULAB

1. מהי הדיסציפלינה האקדמית שבה קיבלו הכשרה המהנדסים שעובדים כיום בחברה שלך, ואיזה הכשרה נוספת נדרשת לצורך פעילות החברה בתחומי רפואה מדייקת?

- הנדסת חשמל
- מדעי המחשב
- ביו-רפואה
- מכונות
- כימיה
- ביוטכנולוגיה
- פסיכולוגיה קוגניטיבית
- מדעי החיים, בדגש על ביולוגיה מולקולרית, ביולוגיה חישובית.

2. האם ניתנת לעובדי החברה שלך הכשרה בתחומי רפואה מדייקת (בתוך החברה או הכשרה חיצונית)? במידה וכן איזה הכשרה?

- 3 חברות ענו שלא ניתנת הכשרה ספציפית לתחום הרפואה המדייקת והגנומיקה.
- אחת החברות ענתה שהעובדים מגיעים עם רקע מבוסס בתחום הגנומיקה ובשלב זה לא נראה צורך בחיזוקו. אם תיווצר דרישה לפעילות קצה בתחום הרפואה המדייקת, החברה תשלים את הפערים באמצעות הכשרות פנימיות או דרך גיוס כ"א מיומן.
- שתי הכשרות שצוין שניתנות:
 - o הכשרה בנושא -embedded mindset- שינוי חשיבה על ידי הסתכלות על השוני האינדבידואלי.
 - o הכשרה בתחומי הרגולציה וניהול פרויקטים
- חברה אחת ציינה שמתקיים לימוד תוך כדי עבודה ולימוד עצמי.

3. האם קיימים צורכי הכשרת כוח אדם בתחומי רפואה מדייקת שאין להם כיום מענה?

- המענה ברובו היה שאין כיום צורך נראה להכשרות בנושא.
- הנושא היחיד שצוין היה תהליכי מסחור ופיתוח עסקי.

4. האם צפוי שינוי בהכשרות שיידרשו לכוח האדם בתחום זה בעתיד הקרוב מבחינת כמות ו/או סוג הכשרה והאם נדרשת היערכות/ התאמת ההכשרות לקראת שינויים אלו?

- חלק מהמשיבים לשאלון ענו שבעיקר רב תחומיות. העתיד הולך לכיוון של אינטגרציה ולכן ההכשרות צריכות לעסוק בהיבטים בין תחומיים ובכללם ניהול, יחסי אנוש, מחשוב, כלי בינה מלאכותית והגנות סייבר.

8. אגרוטק וחקלאות מדייקת

8.1 רקע

תעשיית האגרוטק עוסקת בטכנולוגיות, מוצרים ופתרונות לתחומים שונים בשרשרת היצור החקלאי. שוק טכנולוגיות החקלאות והמזון נמצא בתהליך גדילה מואצת. אתגרי מים ואקלים, איכות הגידולים החקלאיים וצמצום מתמשך של עתודות קרקע פורייה מציבים קושי בפני השאיפה לגידול מזון איכותי בכמות מספקת לאוכלוסיית העולם, שגם היא, בתורה, גדלה בקצב מהיר תוך שינויים בפריסת האוכלוסייה ובדיאטה שלה, בעיקר במדינות המתפתחות.

תחום הטכנולוגיות החקלאיות, כולל קשת רחבה של נושאים שתכליתם לשפר את הביצועים החקלאיים. בשנים האחרונות גוברת המגמה של חדירת טכנולוגיות מתעשיות שונות והתאמתן לחקלאות המודרנית למשל טכנולוגיות מתחומי הגנומיקה non-GMO (מזון שאינו מהונדס גנטית), טכנולוגיות מתחום הרחפנים (drones), אינטרנט של דברים (IoT), תחליפי חלבון ומודלים חדשים למכירה ושינוע של הסחורות לצרכן.

שינויי האקלים, המחסור במים, איבוד שטחים חקלאיים ומזג אוויר קיצוני, כל אלה צפויים להוות איום על החקלאות ולשבש את אספקת התוצרת. אם מגמה זו תימשך, האיום הגדול ביותר יהיה מחסור חמור במזון בקנה מידה עולמי, שעלול להתפתח כבר בעשור הקרוב. תופעת לוואי נוספת היא הופעת מזיקים הנובעת מעומסי חום כבדים ומזג אוויר לא יציב המלווה בתקופות ארוכות של טמפרטורות גבוהות. חלק מהדרכים להתמודדות עם אתגרים אלה כוללות השבחת זנים במטרה להתאימם לסביבת הגידול - פיתוחים חדשים בתחום כוללים זיהוי גנים רלוונטיים להתמודדות הצמח עם בעיות סביבתיות (כגון תנאי עקת מים), הארכת חיי הצמח תוך סבילות לבצורות, האצת קצב צמיחה בעצים ועוד.

סקטור טכנולוגיות החקלאות והמזון – אגרוטק, הוא אחד מפלחי השוק הגדולים והחשובים בכלכלה העולמית והוא מייצר כ-8.5% מהתוצר המקומי הגולמי בעולם (AgFunder, 2015). תתי התחומים הנכללים בשוק האגרוטק הינם רבים ומגוונים וכוללים, בין השאר:

- **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 של 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**. מנוף שני להטמעה של טכנולוגיות חקלאות מדייקת הינו היכולת שלהן **להקטין זליגת מזהמים שונים ממקורות חקלאיים לסביבה**. מובילות את תחום החקלאות המדייקת תעשיות גדולות כמו John Deere. החקלאות המדייקת רוצה **למקסם את התפוקה ליחידה**. באמצעים הקיימים כיום אפשר להקטין את היחידה החקלאית אליה מתייחסים עד לרמה של סנטימטרים ספורים של קרקע.

חקלאות מדייקת הוא תחום מולטי-דיסציפלינרי, המשלב טכנולוגיות מתקדמות של אופטיקה, חישה מרחוק, תקשורת ומערכות מידע עם העשייה החקלאית בשטח. אנשי חקלאות מדייקת לא מובילים מחקר בסיסי, אלא לוקחים מה שפותח ברפואה, בצבא וכדומה ומתרגמים אותו לנושא החקלאי.

בשנים האחרונות עוברים לקרוא לחקלאות מדייקת 'חקלאות חכמה' (Smart Agriculture), כי לחקלאות מדייקת קונוטציה ספציפית של טיפול בשונות המרחבית בשדה. זה כולל גם מערכות מידע וחיישנים, ביצוע פעולות בצורה יעילה מתוך מידע שבא ממערכות חכמות.

8.2 אגרוטק בישראל¹¹³

בישראל התפתחו תשתיות לחקלאות במשך שנים של התמודדות עם אתגרים מקומיים הכוללים מחסור במשאבי קרקע ומים ומזג אויר צחיח בחלק מאזורי המדינה. מרבית התוצר בסקטור זה הינו מגידולים חקלאיים – הן לצריכה מקומית והן לייצוא – בעוד שהחלק של ייצוא טכנולוגיות וציוד חקלאי מתקדמים נותר קטן באופן יחסי. אף על פי כן, בשנים האחרונות ניכרת עליה בהיקפי הפעילות בתחומי הטכנולוגיה החקלאית הישראלית, המופנית גם לייצוא, זאת היות שיותר ויותר מדינות בעולם מתמודדות עם אתגרים דומים בחקלאות, ובשל כך פונות לחיפוש אחר פתרונות אשר כבר פותחו ויושמו בישראל. עם השנים, כתוצאה מפיתוח לחקלאות המקומית, פותחה תעשיית מערכות השקיה, טפטפות, בקרי השקיה ממוחשבים ועוד, פיתוחים שאפשרו הקמת מספר ניכר של מפעלי תעשייה וייצוא 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 ואקוסיסטם תעשייתי תומך (תעשיות ביטחוניות, היי טק).

הידע והחדשנות החקלאית בישראל ניזונים בעיקרם מפיתוחים מחקרניים 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.

חלקה של הממשלה בתמיכה בתעשייה החקלאית בא לידי ביטוי בעיקר במתן מענקי מו"פ באמצעות מגוון מסלולים. הגופים העיקריים המעניקים תמריצים כלכליים לחברות בתחום האגרוטק הם רשות החדשנות ומשרד החקלאות. תוכניות רשות החדשנות הרלוונטיות לחברות בתחום (בהתאם לשלב בו

¹¹³ מבוסס על אילון, et al. 2016.

הן נמצאות וגורמים נוספים) הן: קרן המו"פ, תוכנית מו"פ עסקי בחקלאות (בשיתוף משרד החקלאות), תוכנית החממות הטכנולוגיות, תוכניות מגנט (נופר, קמין, מאגנטון, מאגדים).

משרד החקלאות מעניק סיוע לחברות בתחום האגרוטק באמצעות הקמת מוקדי ידע כחלק מיישום המלצות הועדה הבין-משרדית למינוף המו"פ החקלאי משנת 2012¹¹⁴. בנוסף מפעיל משרד החקלאות את תוכנית 'ניצן' למימון מחקרים יישומיים בתחומי החקלאות ואת תוכנית 'ניצן מורחב' (תיבת נוח) למימון מחקרים יישומיים בתחומי החקלאות התומכים בתעשיית המזון.

גופים נוספים המסייעים לחברות בתחום האגרוטק הם התוכנית לקידום טכנולוגיות מים ואנרגיה מתחדשת (Israel NewTech) ומכון הייצוא.

על פי הערכות שונות¹¹⁵, בישראל פעילות מאות חברות בתחומי האגרוטק השונים, שהינן בשלבי בגרות שונים ופרוסות לרוחב שלל תתי-תחומים. אף על פי שמספר חברות ההזנק (סטרטאפ) בתחום האגרוטק אינו גדול באופן יחסי, ניכרת מגמה של עניין גובר בתחום ובהתאם עלייה במספר היזמויות הנמצאות בשלבי הקמה ראשוניים. 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 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 קריטית" של ידע, יכולת וניסיון הדרושים להתפתחותה של סביבה יזמית פורייה בתחום האגרוטק.

היתרונות והאתגרים של ישראל בתחום חקלאות מדייקת/חקלאות חכמה

לישראל יש מספר יתרונות שבזכותם היא יכולה להיות מובילה בתחום הפיתוח בחקלאות חכמה:

- בישראל ניסיון רב שנים בהתמודדות עם מחסור במשאבים ויש טכנולוגיות חדשניות שהתפתחו כתוצאה מכך, אם לפתרון בעיות המים בחקלאות (ניהול נכון של משק המים, יעילות, מחזור לחקלאות), שימוש באנרגיות מתחדשות ועוד.
- בישראל 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.
- ישראל היא ארץ קטנה עם מגוון סוגי אקלים, קרקעות, גידולים - כמו מעבדה. יש בה אקלים סאב-טרופי, שהוא אקלים המאפיין את רוב האזורים בעולם הסובלים מבעית מזון. במקומות כאלו פתרונות חקלאיים חדשים יכולים להיות עם אימפקט.
- ישראל היא מדינה בעלת משאבים מוגבלים (למשל אדמות ומים). הצורך לאחריות בשימוש במשאבים מנתיב מציאת פתרונות שאפשר לנסות או ליישם בישראל. (מציאות זו יכולה להסביר את הצלחת נושא המיכון החקלאי בשנות ה-60 והצלחת טכנולוגיות צבאיות ישראליות שאומצו לצרכים אזרחיים).
- החקלאות בישראל מתקדמת, הפרוטוקולים החקלאיים, השקיה, דישון וכו' הם ברמה גבוהה.

¹¹⁴ <http://www.pmo.gov.il/Secretary/sederyom/Documents/915B.pdf>

¹¹⁵ לדוגמה, במסמך **ישראל כמרכז חדשנות גלובלי בתחומי האגריטק - דו"ח לוועדה למינוף המו"פ החקלאי בישראל** של המכון הישראלי למדיניות מדע טכנולוגיה וחדשנות והמועצה הלאומית למחקר ופיתוח מ-2012, מצוינות "258 חברות בתחומי החקלאות השונים"

- 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 ולכן פיתוחים יוצאים הישר לעולם.

שילוב של יתרונות אלה עם Smart Agriculture הוא שילוב ייחודי. יש בישראל את כל הקצוות שאפשר לקשור כדי לקבל 'חבילת חקלאות חכמה' אבל כיום הרכיבים מפוזרים ומתבססים על חוקרים אינדיבידואלים. אין בארץ מרכזים של חקלאות מדייקת כמו באנגליה למשל, שם יש מרכזים לאומיים, כמו באוניברסיטת הרפר-אדאמס ובאוניברסיטת לינקולן, שמוקדשים רק לנושא החקלאות החכמה. החל מינואר 2018 החל לפעול מאגד Phenomics (אותו מובילה חברת 'הזרע').

החסמים שזוהו כאיומים שעשויים להשפיע על התפתחות התחום:

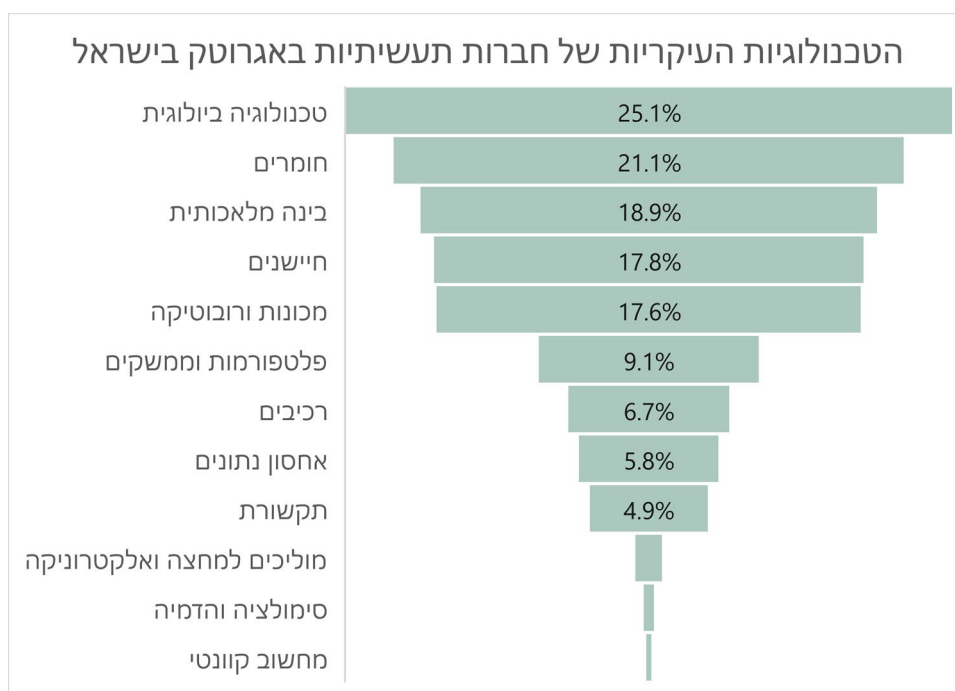
- כיום חסר הון אנושי בתחום, הפקולטה להנדסה חקלאית בטכניון נסגרה, אין דרישה של סטודנטים לתואר ראשון בהנדסה חקלאית, בין היתר כתוצאה ממיתוג שלילי של תחום החקלאות.
- יש מיעוט חוקרים באקדמיה הרואים בתחום יעד ואין מסלולי תמיכה מתאימים שיאפשרו לחוקרים לתעדף תחום זה על פני מחקרים אקדמיים טהורים.
- קיים אתגר מיוחד במחקר במעבר לשלב היישום המסחרי (גימלון, scaling up) – חסרים מקורות למימון המשך, בין היתר, כתוצאה מקושי בהגדרת השוק.
- קיים קושי בקשרי אקדמיה-תעשייה ובין האוניברסיטאות למדען הראשי, דבר שמוביל לבעיה ב-Deal flow.
- על אף הזינוק בהשקעות באגרוטק בעולם, עדיין מזוהה חוסר וכשל שוק בהשקעות ה-Seed.
- חסם בהטמעת הטכנולוגיה אצל החקלאי, מידת פתיחות הלקוחות לתוכנות חדשות.
- קיים קושי לחברות קטנות, בעיקר כאלה המתבססות על תוכנה בגיבוש המודל העסקי.
- מחזור הפיתוח של המוצר תלוי באופן מובנה בסוג הגידול ומחזורי הגידול, דבר שמכתיב קצב פיתוח איטי יחסית להייטק.

8.3 חברות בתחום אגרוטק וחקלאות מדייקת

נכון לחודש מרץ 2023, בישראל 550 חברות פעילות, שתויגו במאגר ה-Startup Nation Central Finder בתגיות אגרוטק או precision-agriculture, לעומת 236 חברות ב-2014. טכנולוגיות הליבה שבהן הן עוסקות: טכנולוגיה ביולוגית (113), תקשורת (22), טכנולוגיית אחסון נתונים (26), רכיבים (30), טכנולוגית חומרים (95), מוליכים למחצה ואלקטרוניקה (5), בינה מלאכותית (85), חיישנים (80), סימולציה והדמיה (2), טכנולוגיית פלטפורמות וממשקים (41), מכונות ורובוטיקה (79), מחשוב קוונטי (1) ¹¹⁶.

¹¹⁶ אם לא צוין אחרת מקור הנתונים בתת פרק זה הינם עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder, נכון ליום 06.03.2023.

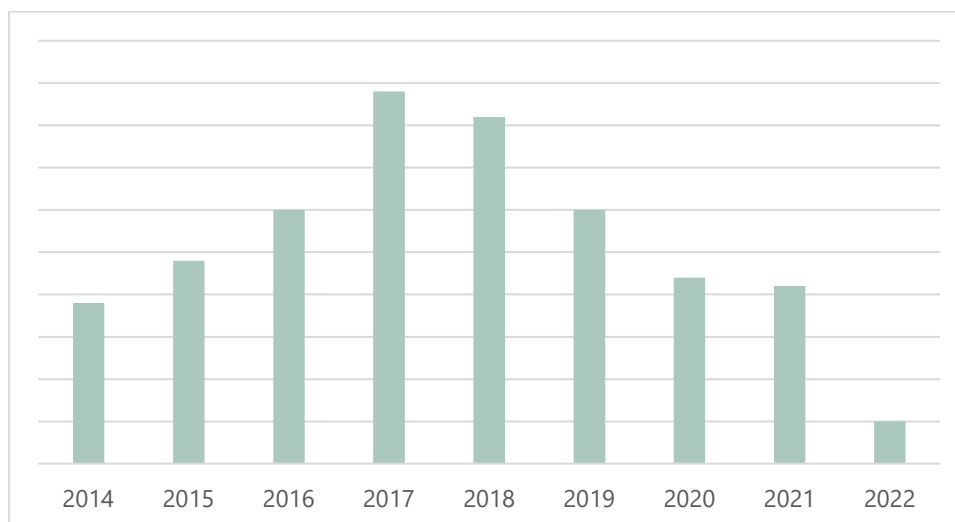
איור 20: הטכנולוגיות העיקריות של חברות תעשייתיות באגרוטק בישראל



מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

ניתן לראות שהחל מ-2014 חל גידול במספר החברות החדשות המוקמות בתחום מידי שנה ומספר זה נמצא במגמת עלייה עד שנת 2018. כשליש מהחברות (39%) הוקמו לפני 2014.

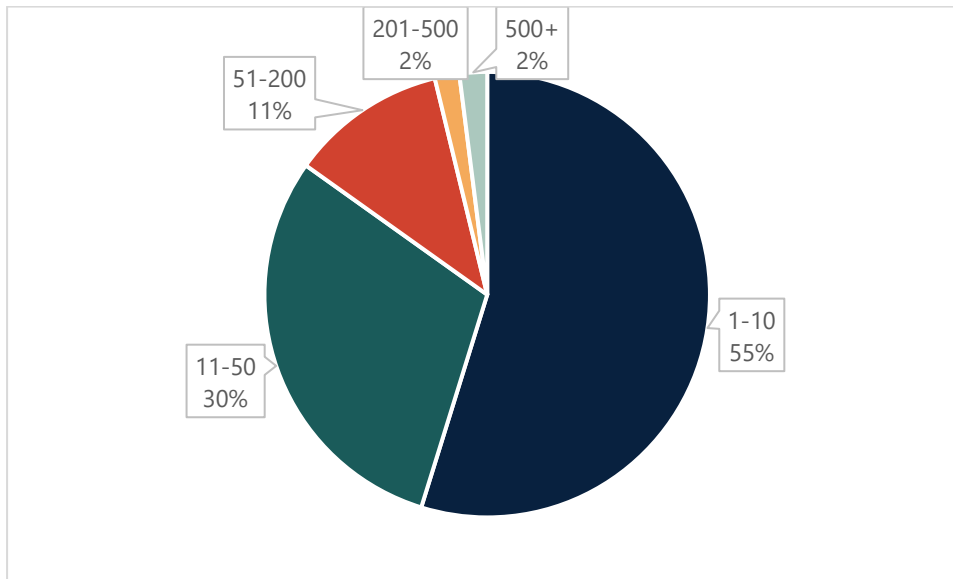
איור 21: חברות בתחום אגרוטק בישראל עד שנת 2022



מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

רוב החברות 85%, הן חברות קטנות שיש בהן עד 50 עובדים (ב-55% מהחברות עובדים עד עשרה עובדים). 11% מהחברות בינוניות ומונות 200-51 עובדים ורק 4% הן חברות גדולות המעסיקות למעלה מ-200 עובדים. נתונים אלה מחזקים את העובדה כי זהו תחום מתפתח ורוב החברות נמצאות בתחילת דרכן, כפי שניתן לראות גם באיור הבא.

איור 22: גודל החברות לפי מספר העובדים בחברה



מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

8.4 תחומי תואר/ ידע בסיסי רלבנטיים לאגרוטק וחקלאות מדייקת

- מהנדסי מכונות.
- מהנדסי חקלאות
- ארגונומיה
- מהנדסי מים
- חקלאות ימית
- תואר שני ושלישי בהנדסה כימית
- תואר ראשון בביולוגיה
- תואר ראשון ושני מדעי בעלי חיים
- תואר שני במדעי בעלי חיים ימיים
- תואר שלישי בזואולוגיה
- מהנדסי חשמל
- הנדסאי תוכנה וחשמל

מיפוי לימודי חקלאות באקדמיה¹¹⁷:

האוניברסיטה העברית ברחובות - הפקולטה לחקלאות מזון וסביבה

כרגע אין בפקולטה לחקלאות שילוב עם הנדסה וטכנולוגיות מידע ותקשורת (ICT). שיתופי הפעולה הקיימים עם הפקולטה להנדסה בגבעת רם הינם ובהיקפים קטנים. עם זאת, לאחרונה מורגשת דרישה אשר מגיעה מהשטח לפתח שילוב כזה. בזמן האחרון התקבלו לפקולטה חוקרים חדשים שיש להם הכשרה בתחומי חישוב ועיבוד מידע. בפקולטה רואים חשיבות לשילוב של הנדסה עם חקלאות, ולכן מנסים לפתח אשכול או חטיבה שיעסקו ב-smart Agriculture או ב-Precision Agriculture, חקלאות עם אלמנטים חישוביים בתחומים כמו Imaging, מידול, עיבוד מידע וטכנולוגיות נוספות של Data Sciences ו-Big-Data. באשכול יתקיים חיבור בין האנשים האוספים מידע לאנשים המעבדים

¹¹⁷ ג' דפנה, בוכניק ציפי, גלעד ורד, ברזני אלה, רוה איילת. תחזיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי דו"ח סופי – שנה ד' חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2021. <https://www.neaman.org.il/Technological-forecasting>

מידע. מלבד החוקרים יש בפקולטה גם פיזיקאים שנותנים פן שמתקרב יותר להנדסה, אבל החיבור הזה צריך להיות יותר חזק ויותר ממוקד. לא מדובר בבניית מרכז חדש, אלא בהידוק שיתוף הפעולה.

מסלול מדעי הקרקע והמים ואגרו-אינפורמטיקה תוכנית חדשה המעניקה תואר בוגר¹¹⁸. התוכנית מקנה ללומדים בה ידע תיאורטי ומעשי בגישות חישוביות מודרניות בתחום החקלאות, המזון והסביבה. בעידן המודרני נדרשים כלים חישוביים הן לניהול ועיבוד המידע והן להפקת תובנות. על כך אמונה האגרו-אינפורמטיקה, שהינה תחום דעת אינטרדיסציפלינרי חדש המשלב בין עולם החקלאות, המזון והסביבה לעולם המתמטיקה, מדעי המחשב, הפיזיקה וההנדסה. הטכנולוגיה החדשה מאפשרת קבלת נתונים רבים מחיישנים הממוקמים בשדה, מהדמיות ברמת המקרו (לוויינים מרובי-ערוצים) והמיקרו (מיקרוסקופיה), מאנליזות גנומיות ועוד. הדרך היחידה לעשות שימוש מושכל במידע רב זה היא על ידי פיתוח דרכים חדשות לשמירה ארגון, עיבוד וניתוח, הכוללות אלגוריתמים מתמטיים, מודלים, תוכנות מחשב, כלים סטטיסטיים ולמידת תוכנה. כך ניתן לחבר מיליוני פיסות מידע לתמונה שלמה המאפשרת לזהות את תבניות הפעולה העיקריות. פיתוח של טכנולוגיות חדשות וגישות חקלאיות מתקדמות בעזרת האגרו-אינפורמטיקה, מאפשר ביטחון תזונתי לאוכלוסיית העולם המתפתחת תוך שמירה על איכות הסביבה ומשאבי הטבע.

התוכנית מיועדת לסטודנטים המעוניינים להעמיק את הידע בגישות חישוביות מודרניות ולרכוש הן את היכולות התיאורטיות והן את היכולות המעשיות בתחום. חטיבת הלימודים משולבת ב-7 מתוך 8 תוכניות הלימודים לבוגר (חוגים) בפקולטה לחקלאות מזון וסביבה: אגרואקולוגיה ובריאות הצמח, ביזמייה ומדעי המזון, כלכלת סביבה וניהול, מדעי בעלי החיים, מדעי הצמח בחקלאות, מדעי הקרקע והמים ומדעי התזונה.

בפקולטה לחקלאות מזון וסביבה של האוניברסיטה העברית מנסים לפתח אשכול או חטיבה שיעסקו ב-smart Agriculture או ב-Precision Agriculture. לא מדובר בבניית מרכז חדש, אלא בהידוק שיתוף הפעולה בין חוקרים בתחום.

מכללת אחוה

תואר ראשון B.Sc. במדעי החיים¹¹⁹. תוכנית הלימודים מקנה ידע בסיסי ויישומי במקצועות הביולוגיה החדשניים והקלאסיים. הסטודנטים בתוכנית יכולים לבחור תחום מיקוד בהתאם להעדפתם, תוך שילוב ייחודי של תחומים חדשניים. רשימת קורסים לדוגמה: הדברה ביולוגית, חקלאות מדייקת, מיקרוביולוגיה, אבולוציה, יסודות הביוטכנולוגיה, הנדסה גנטית, מדעי בעלי החיים, מדעי הצמח, יסודות הגנטיקה, מבוא לביו אינפורמטיקה.

מכללת תל-חי

במכללת תל חי קיים קורס באגרוטק במסגרת התואר במדעי הסביבה¹²⁰.

מכללת כנרת

B.Sc. בהנדסת תעשיות מים במסלול הנדסת אגרוטק (הנדסה חקלאית)¹²¹.

נלמד במחלקה להנדסת תעשיות מים כמסלול לימוד. תואר סיום הלימודים הינו B.Sc בהנדסת לימודי מסלול אגרוטק

המסלול כולל שלושה אשכולות לימוד עיקריים:

¹¹⁸<http://catalog.huji.ac.il/pages/WebChugInfoNew.aspx?year=2023&faculty=8&entityId=716°reeCode=71>

¹¹⁹<https://new.achva.ac.il/wp-content/uploads/2021/11/yediun-2022.pdf>

¹²⁰<https://www.telhai.ac.il/%D7%9E%D7%90%D7%9E%D7%A8%D7%99%D7%9D/%D7%90%D7%92%D7%A8%D7%95%D7%98%D7%A7>

¹²¹<http://www.kinneret.ac.il/Web/StudyTopics/KinneretBA/EngineeringSchool/WaterIndustryBSc/About/Default.aspx>

- אגרוביולוגיה: הכוללת לימוד מקצועות מתחומי מדעי החיים כדוגמת הנדסה גנטית ותהליכי השבחה, כימיה של המים והקרקע, אקולוגיה ווקיימות.
- מחשבים, רשתות וניהול מאגרי מידע.
- תעשייה החקלאית: חקלאות ימית, ענפי הביוטק בתחום האגרוטק, הדברה ביולוגית, אוטומציה ומכניקה זעירה.

בנוסף בקמפוס של המכללה האקדמית כנרת, נמצא מרכז כנרת לחדשנות ויזמות שהוא גוף משותף בין המכללה האקדמית כנרת, צמח תעשיות וקק"ל. זהו מרכז ידע וחברות הזנק בתחום האגרוטק. למעשה הסטודנטים והבוגרים של המכללה יכולים לעבוד בחברות ההזנק הנמצאות במרכז כנרת לחדשנות ויזמות ואו לקבל ליווי ממרכז כנרת לחדשנות וליזמות להקמת חברת הזנק משלהם¹²².

מהראיונות שקיימנו עם מומחים בתחום עולה שאין מנגנון אקדמי מתאים שמכשיר כוח אדם מולטי-דיסציפלינארי המשלב הייטק טכנולוגיה ומדעי החיים. בנושא של חקלאות מדייקת ההזדמנות או האימפקט הגדול טמון באינטרדיסציפלינריות. כיום אין אף מקום בישראל שאפשר לקבל בו השכלה מולטי-דיסציפלינרית כוללת בתחום, חסר מסלול המשלב חקלאות וטכנולוגיה.

יש לייצר תוכניות אקדמיות לבוגרי הנדסה מחד ומאיך לבוגרי מדעי החיים לתואר שני ושלישי ולייצר מבוגרים אלו "קטרים" לחממות טכנולוגיות למוצרי אגרוטק וחקלאות מדייקת שייצרו דרך הדגמות את השינויים בשרשרת יצור המזון.

העוסקים כיום בתחום מגיעים מהכשרות שונות של הנדסה כגון: מחשבים, חשמל, מכונות, ניהול ועוד, שלמדו באופן עצמאי את תחומי מדעי החיים או כאלה שלמדו מדעי החיים חקלאות והתמחו באופן עצמאי בנושאי הנדסה.

8.5 צרכי התעשייה להכשרות LLL בתחום אגרוטק וחקלאות מדייקת

במסגרת העבודה הנוכחית נשלח שאלון לבחינת צרכי הכשרות LLL בחברות בתחום אגרוטק וחקלאות מדייקת¹²³ (סיכום ממצאי השאלון מופיע בנספח לחלק זה). ממצאי המענה לשאלון שולבו בחלק זה יחד עם ממצאים בנוגע לצרכי הכשרת כ"א בתעשייה בתחום אגרוטק וחקלאות מדייקת, שעלו בראיונות עם מומחים בתחום האגרוטק¹²⁴ ושאלונים שהופצו בעבודות קודמות שבוצעו ע"י מוסד שמואל נאמן.

צרכי התעשייה להכשרות LLL בתחום אגרוטק וחקלאות מדייקת:

- בתחום החרקים המועילים ההכשרה האנטומולוגית היא כללית ולא מתמקדת בזבוב החייל השחור.
- חסרות תוכניות לימוד אקדמיות בנושא ביוטכנולוגיה ימית. מעט מאד (!) בוגרים יוצאים אל השוק.
- מיכון תהליכים, אוטומציה, בינה מלאכותית, שליטה ובקרה מרחוק.
- הכשרה הנוספת בתחום האגרוטק שתאפשר למהנדסים/ות להיות מעורים בתחום הטכנולוגיות החקלאיות:

¹²² אתר המכללה

¹²³ רשימת העונים לשאלון LLL בתחום אגרוטק וחקלאות מדייקת: Idan Alyagor - חברת Limor Ziv, FreezeM Cryogenics Ltd - חברת Syrinjector Ltd. - Nahum Cohen, Crystal Vision - Ofer Ben-Tovim, Aquinovo Ltd
¹²⁴ רשימת המומחים בתחום אותם ראיינו הם: דר' ויקטור אלחנתי, הנדסה חקלאית, הנדסת מערכות חישה, מידע ומיכון, מכון וולקני, פרופ' שמעון גפשטיין, נשיא המכללה האקדמית כנרת, פרופ' מאשה ניב, סגן דיקן למחקר הפקולטה לחקלאות מזון וסביבה של האוניברסיטה העברית (רחובות), קלמן קאופמן, יזם, מרכז כנרת לחדשנות ויזמות בתחום ה-AGRO-TECH, מנש (מנשה) שלום, מנכ"ל צמח מפעלים ומשקי עמק הירדן, פרופ' יצחק שמולביץ, פרופ אמריטוס - הפקולטה להנדסה אזרחית בטכניון, פרופ' מאשה ניב וד"ר רפי לביא.

א. תהליכי ושיטות האבסה של בעלי חיים בתחום הווטרינרי כולל החסרונות הקיימים. תהליכים ושיטות חיסון עדרים, עופות ודגים, אמצעי חיסון קיימים כולל חסרונות.

ב. תהליכי גידול צמחים בתחום הצומח כולל השקיה. בקרת מחלות, קטיף, גיזום, בקרת חממות, שיטות גידול והחסרונות של כל נושא שהוזכר, תהליכי ריסוס, הזנה לצמחיה כמו למיכון חקלאי וניטור צמחים וכד'

- יש צורך בכוח אדם עם הכשרה טובה יותר במדעים המדויקים ובמדעי הנתונים. חסרה גם הבנה בתהליכים כלכליים וחברתיים ויכולות של ניהול פרויקטים ושיתוף עם חו"ל.

- חסר כוח אדם המצוי בבינה מלאכותית ויידרש להכשיר אנשים נוספים בשנים לבוא.

כיום כשמנסים למצוא אנשים שיעבדו בתחום של חקלאות מדייקת יש אנשים בשני קצוות או מהנדסים טובים עם ידע בתחום הטכנולוגי בלי ידע בחקלאות או אנשים עם חוש טכני והשכלה באגרונומיה שצריך להשלים להם את התחום הטכנולוגי. בחברות זה ניכר בצורה בולטת כאשר מנסים לפתח משהו חדשני, אבל הידע הוא אגרונומי בלבד וחסר ידע טכנולוגי.

לעובדים המגיעים לעבוד בחברות בתחום האגרוטק והחקלאות המדייקת נדרשת הכשרה שמתבצעת בחברות עצמן, ידע שמועבר בתוך צוותי המו"פ בצורה לא פורמלית. נושאים שעלו כמועברים בהכשרות אלה: היכרות עם שיטות העבודה והביולוגיה ברמת החברה, ניסיון בעבודה מול חוקרים וחקלאים וניסיון חיים בקיבוץ, רקע כללי על התחום בו החברה עוסקת קרי, חיסון בעלי חיים בהתאם לפרוטוקולים של משרד החקלאות/השירותים הווטרינריים של מדינת ישראל, הצורך במתן חיסונים לבעלי חיים, החסרונות בשיטת החיסון הקיימת והבעיות הנגרמות מכך הן ברמת בעלי החיים והן ברמת החוואי, הצרכים לשיפור תנאי הביו סקיריטי של בעלי החיים בד בבד עם הקטנת עלויות החוואי.

8.6 מצב קיים - הכשרות LLL בתחום אגרוטק וחקלאות מדייקת

במפוי שערכנו בחלק א' של עבודה זו, לא נמצאו תוכניות הכשרת LLL לתחום אגרוטק וחקלאות מדייקת, העונות על הקריטריונים שנקבעו למחקר זה.

8.7 בהסתכלות קדימה, ההכשרות החדשות שיידרשו לעובדים בתחום

- קיימת התפתחות טכנולוגית רבה בתחום האגרוטק כגון: שימוש במחשוב ורובוטיקה וכן כלים ביו-אינפורמטיים חדשניים. הכשרה מקצועית בתחומים אלה חייבת לבוא בקונטקסט ולכן צריכה להיות חלק מלימודי תואר ראשון או לימודי המשך.

- תחום גידול זבוב החייל השחור מתפתח וגדל בארץ ועל כן יש להתאים את תוכניות הלימוד באקדמיה.

- לקראת כניסת טכנולוגיה של AI ואוטומציה בנהיגה איסוף וטיפול ביבול יהיה צורך במפעילים וטכנאים למערכות יותר ויותר מתוחכמות וכן במפתחים.

- זה בלתי נמנע כדי ליעל תהליכים מצד אחד וכדי להוריד עלויות תפעוליות שנעשות היום ע"י בני אדם ובכך להגדיל את כמות המזון בעולם תוך שיפור האיכות וחיי המדף.

בראיונות עלתה הצעה לבניית הכשרה שתשלב בין אנשי טכנולוגיה שרוצים להתמחות בחקלאות או אנשי חקלאות שרוצים לשלב טכנולוגיה בהשכלה שלהם. אחד המודלים האפשריים

הוא מודל של לימודי בסיס במדעים ולימודים גבוהים בהנדסה. כל התעשיות שמתעסקות עם חומרים טבעיים ירוויחו מהמודל. מדובר בתוכנית שאליה יגיעו מהנדסים מתחומים שונים: כימיה, ביו-רפואה, מכונות, תעשייה וניהול וכו', אנשים שיש להם תואר הנדסי או מדעי ויוכשרו לנושא בין דיסיפלינרי. הרעיון הוא לדלג על התואר הראשון, כל תואר הנדסי או מדעי יכול להיות להתאים לצורך העניין, ולתת

השלמות מדעיות/הנדסיות לטובת מהנדסים שמכירים חומרים טבעיים וגם יודעים לעסוק בהנדסה. התוכנית המתקדמת צריכה להיות צמודה לפקולטה או לתוכנית כמו מערכות אוטונומיות.

8.8 צורכי התעשייה להכשרות LLL בתחום אגרוטק וחקלאות מדייקת

- בתחום החרקים המועילים ההכשרה האנטמולוגית היא כללית ולא מתמקדת בזבוב החייל השחור.
- חסרות תוכניות לימוד אקדמאיות בנושא ביוטכנולוגיה ימית. מעט מאד (!) בוגרים יוצאים אל השוק.
- מיכון תהליכים, אוטומציה, בינה מלאכותית, שליטה ובקרה מרחוק.
- הכשרה הנוספת בתחום האגרוטק שתאפשר למהנדסים/ות להיות מעורים בתחום הטכנולוגיות החקלאיות:
- א. תהליכי ושיטות האבסה של בעלי חיים בתחום הווטרינרי כולל החסרונות הקיימים. תהליכים ושיטות חיסון עדרים, עופות ודגים, אמצעי חיסון קיימים כולל חסרונות.
- ב. תהליכי גידול צמחים בתחום הצומח כולל השקיה. בקרת מחלות, קטיף, גיזום, בקרת חממות, שיטות גידול והחסרונות של כל נושא שהוזכר, תהליכי ריסוס, הזנה לצמחיה כמו למיכון חקלאי וניטור צמחים וכד'
- יש צורך בכוח אדם עם הכשרה טובה יותר במדעים המדויקים ובמדעי הנתונים. חסרה גם הבנה בתהליכים כלכליים וחברתיים ויכולות של ניהול פרויקטים ושיתוף עם חו"ל.
- חסר כוח אדם המצוי בבינה מלאכותית ויידרש להכשיר אנשים נוספים בשנים לבוא.
- כיום כשמנסים למצוא אנשים שיעבדו בתחום של חקלאות מדייקת יש אנשים בשני קצוות או מהנדסים טובים עם ידע בתחום הטכנולוגי בלי ידע בחקלאות או אנשים עם חוש טכני והשכלה באגרונומיה שצריך להשלים להם את התחום הטכנולוגי. בחברות זה ניכר בצורה בולטת כאשר מנסים לפתח משהו חדשני, אבל הידע הוא אגרונומי בלבד וחסר ידע טכנולוגי.
- לעובדים המגיעים לעבוד בחברות בתחום האגרוטק והחקלאות המדייקת נדרשת הכשרה שמתבצעת בחברות עצמן, ידע שמועבר בתוך צוותי המו"פ בצורה לא פורמלית. נושאים שעלו כמועברים בהכשרות אלה: היכרות עם שיטות העבודה והביולוגיה ברמת החברה, ניסיון בעבודה מול חוקרים וחקלאים וניסיון חיים בקיבוץ, רקע כללי על התחום בו החברה עוסקת קרי, חיסון בעלי חיים בהתאם לפרוטוקולים של משרד החקלאות/השירותים הווטרינריים של מדינת ישראל, הצורך במתן חיסונים לבעלי חיים, החסרונות בשיטת החיסון הקיימת והבעיות הנגרמות מכך הן ברמת בעלי החיים והן ברמת החוואי, הצרכים לשיפור תנאי הביו סקויריטי של בעלי החיים בד בבד עם הקטנת עלויות החוואי.

8.9 סיכום והמלצות למדיניות בהכשרות LLL בתחום אגרוטק

ההכשרות הנדרשות בתחום האגרוטק הן לרוב לשתי קבוצות או למהנדסים עם ידע בתחום הטכנולוגי שחסר להם ידע בחקלאות או בעלי השכלה באגרונומיה שצריך להשלים להם את התחום הטכנולוגי. בחברות זה ניכר בצורה בולטת כאשר מנסים לפתח משהו חדשני, אבל הידע הוא אגרונומי בלבד וחסר ידע טכנולוגי.

היות שאין בנמצא כיום הכשרות LLL בתחום, יש צורך בבניית תוכניות הכשרת LLL בכל הנושאים שעלו.

- הכשרה אנטמולוגית ממוקדת בתחום החרקים המועילים.

- תוכניות לימוד בנושא ביוטכנולוגיה ימית.
- הכשרות בנושאי: מיכון תהליכים, אוטומציה, בינה מלאכותית, שליטה ובקרה מרחוק.
- הכשרות בטכנולוגיות החקלאיות:
 - א. תהליכי ושיטות האבסה של בעלי חיים בתחום הווטרינרי. תהליכים ושיטות חיסון עדרים, עופות ודגים.
 - ב. תהליכי גידול צמחים כולל השקיה. בקרת מחלות, קטיף, גיזום, בקרת חממות, שיטות גידול, תהליכי ריסוס, הזנה לצמחיה כמו למיכון חקלאי וניטור צמחים וכד'
- הכשרה במדעים מדויקים ובמדעי הנתונים ובינה מלאכותית.
- הכשרה בתהליכים כלכליים וחברתיים ובניהול פרויקטים.

8.10 נספחים

8.10.1 נספח א - ניתוח תשובות לשאלון בתחום אגרוטק וחקלאות מדייקת

העונים:

1. **Idan Alyagor** - חברת FreezeM Cryogenics Ltd
2. **Limor Ziv** - חברת AquiNovo Ltd
3. **Ofer Ben-Tovim** - Crystal Vision
4. **Nahum Cohen** - Syrinjector Ltd.

כוח האדם העובד בתחום אגרוטק וחקלאות מדייקת בעלי התארים הבאים: מהנדסי מכונות, תואר שני ושלישי בהנדסה כימית, תואר ראשון בביולוגיה, תואר ראשון ושני מדעי בעלי חיים, תואר שני במדעי בעלי חיים ימיים, תואר שלישי בזואולוגיה, מהנדסי חשמל והנדסאי תוכנה וחשמל. כל העונים ענו שנדרשת הכשרה פנים ארגונית. קיימת התפתחות טכנולוגית רבה בתחום האגרוטק כגון שימוש במחשוב ורובוטיקה וכן כלים ביו-אינפורמטיים חדשניים שצריכה להיות חלק מלימודי תואר ראשון ולהילמד במסגרת לימודי המשך.

1. מהי הדיסציפלינה האקדמית שבה קיבלו הכשרה המהנדסים שעובדים כיום בחברה שלך, ואיזה הכשרה נוספת נדרשת לצורך פעילות החברה בתחום האגרוטק?

- מהנדסי מכונות.
- תואר שני ושלישי בהנדסה כימית
- תואר ראשון בביולוגיה
- תואר ראשון ושני מדעי בעלי חיים
- תואר שני במדעי בעלי חיים ימיים
- תואר שלישי בזואולוגיה
- מהנדסי חשמל
- הנדסאי תוכנה וחשמל

אחד המרואיינים כתב שישנה הלימה ביו הנושאים שנלמדו במסגרת התארים לדרישות מו"פ (לפחות בשנים הרלוונטיות של עד לפני 5 שנים).

2. האם ניתנת לעובדי החברה שלך הכשרה בתחום האגרוטק (בתוך החברה או הכשרה חיצונית)? במידה וכן איזה הכשרה?

- כל העונים על השאלון בתחום כתבו שנדרת לעובדים המגיעים לעבוד בחברה הכשרה שמתבצעת בחברה.
- נדרשת הדרכה מקומית בחברה ברמת ההיכרות עם שיטות העבודה והביולוגיה ברמת החברה.
 - בתוך החברה ידע מועבר בתוך צוותי המו"פ בצורה לא פורמלית. אין הכשרות חיצוניות.
 - מעט הכשרה בתוך החברה - בעיקר ניסיון בעבודה מול חוקרים וחקלאים וניסיון חיים בקיבוץ.

- הכשרה בתוך החברה שכוללת: רקע כללי על התחום בו החברה עוסקת קרי, חיסון בעלי חיים בהתאם לפרוטוקולים של משרד החקלאות/השירותים הווטרינריים של מדינת ישראל וכן הכשרה נוספת שכוללת בקצרה את הנושאים הבאים:
 - א. הצורך במתן חיסונים לבעלי חיים
 - ב. החסרונות בשיטת החיסון הקיימת והבעיות הנגרמות מכך הן ברמת בעלי החיים והן ברמת החוואי
 - ג. הצרכים לשיפור תנאי הביו סקויריטי של בעלי החיים בד בבד עם הקטנת עלויות החוואי

3. האם קיימים צרכי הכשרת כוח אדם בתחום האגרוטק שאין להם כיום מענה?

- בתחום החרקים המועילים ההכשרה האנטמולוגית היא כללית ולא מתמקדת בזבוב החייל השחור.
- חסרות מאד תוכניות לימוד אקדמאיות בנושא ביוטכנולוגיה ימית. מעט מאד (!) בוגרים יוצאים אל השוק.
- מיכון תהליכים, אוטומציה, בינה מלאכותית, שליטה ובקרה מרחוק.
- ההכשרה הנוספת בתחום האגרוטק שתאפשר למהנדסים/ות להיות מעורים בתחום הטכנולוגיות החקלאיות:
 - א. תהליכי ושיטות האבסה של בעלי חיים בתחום הווטרינרי כולל החסרונות הקיימים. תהליכים ושיטות חיסון עדרים, עופות ודגים, אמצעי חיסון קיימים כולל חסרונות.
 - ב. תהליכי גידול צמחים בתחום הצומח כולל השקיה. בקרת מחלות, קטיף, גיזום, בקרת חממות, שיטות גידול והחסרונות של כל נושא שהוזכר, תהליכי ריסוס, הזנה לצמחיה כמו למיכון חקלאי וניטור צמחים וכד'

4. האם צפוי שינוי בהכשרות שיידרשו לכוח האדם בתחום זה בעתיד הקרוב מבחינת כמות ו/או סוג הכשרה והאם נדרשת היערכות/ התאמת ההכשרות לקראת שינויים אלו?

- תחום גידול זבוב החייל השחור מתפתח וגדל בארץ ועל כן יש להתאים את תוכניות הלימוד באקדמיה.
- קיימת התפתחות טכנולוגית רבה בתחום אגרוטק כגון שימוש במחשוב ורובוטיקה וכן כלים ביו-אנפורמטיים חדשניים. הכשרה מקצועית בתחומים אלה חייבת לבוא בקונטקסט ולכן צריכה להיות חלק מלימודי תואר ראשון או לימודי המשך.
- לקראת כניסת טכנולוגיה של AI ואוטומציה בנהיגה איסוף וטיפול ביבול יהיה צורך במפעילים וטכנאים למערכות יותר ויותר מתוחכמות וכן במפתחים.
- זה בלתי נמנע כדי ליעל תהליכים מצד אחד וכדי להוריד עלויות תפעוליות שנעשות היום ע"י בני אדם ובכך להגדיל את כמות המזון בעולם תוך שיפור האיכות וחיי המדף.

9. מקורות מזון אלטרנטיביים

9.1 רקע¹²⁵

נושא פרק זה הוא מקורות מזון חדשים אשר טרם משמשים כיום באופן נרחב או בכלל כחומרי גלם לצריכה ולתעשייה. קצב גידול של אוכלוסיית העולם מביא 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:** 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:** **מיקרו-אצות** (Macroalgae, Seaweed); **מיקרו-אצות זעירים** אצות משמשות למזון לבני אדם ולבעלי חיים יבשתיים וימיים (למשל מיקרו-אצות כמו, Nori, Dulse ו-Wakame, Kombu ומיקרו-אצות
- **חרקים:** חרקים אכילים מכילים חלבון, ויטמינים וחומצות אמינו באיכות גבוהה, לחרקים שיעור המרת מזון גבוהה. 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 מיקרו-אורגניזמיות:** 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. (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 וגיוון המקורות הצמחיים להפקת חלבון, הן מתהליכי הפקת החלבון והן מהפיכת חומרי הגלם למוצרים סופיים (Lagally, Rees Clayton, & Specht, 2017).

¹²⁵ תודתנו לד"ר עפרה לוטן וד"ר יאיר בזמן על הערותיהם ועל עזרתם במיקוד הסקירה.

9.2 השוק העולמי למקורות מזון חדשים

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 ו-Mosa Mea) הביעו בטחון בטכנולוגיות הקיימות, והודיעו שהן מצפות להתחיל לייצר מוצרים לשוק כבר בשנת 2021 (Cameron 2021) (Shannon &. 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 (Cameron et al., McCracken, 2019). מרבית התחזיות מצביעות על גידול משמעותי בשוק הבשר המתורבת לצד גידול בשוק תחליפי בשר חדשניים מהצומח וקיטון בצריכת בשר 'קונבנציונלי'. במקביל חזרה חברת מחקרי השוק BCC Research ירידה חדה במחיר הבשר המתורבת בשנים הקרובות.

שוק חלבון מבוסס צמחים

לפי חברת המחקר BCC Research ערך שוק חלבון המזון מהצומח (סויה, חיטה, אפונים (כולל חומוס)), 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.

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 ייצור חרקים) אכילת חרקים לרוב נחשבת כטאבו (פורטונה, ליבס, & פרוינד קורן, 2016).

9.3 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 מחומוס, 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 ₪.

9.4 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 ₪.

¹²⁶**The 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 FoodNxt¹²⁷

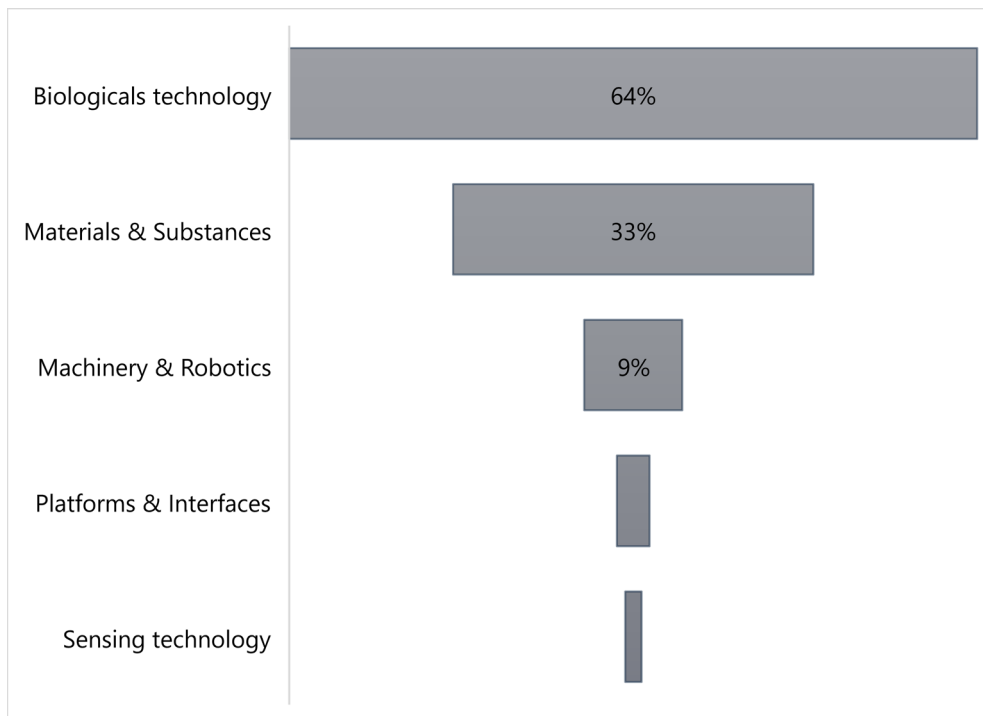
מסלול מעבדות לחדשנות טכנולוגית של רשות החדשנות מיועד ליזמים בראשית דרכם הזקוקים לתשתיות ולמומחיות ייחודיים לצורך הוכחת היתכנות של רעיון טכנולוגי ולתאגידים המעוניינים לשתף פעולה עם סטארטפים בישראל. הסיוע ניתן באמצעות מעבדות לחדשנות שמופעלות על ידי תאגידים מובילים בתחום, במודל של חדשנות פתוחה. חברת פרוטרם 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.

¹²⁶<https://www.thekitchenhub.com/>
¹²⁷<https://foodnxtlab.com/>

9.5 מיפוי חברות בתחום מקורות מזון חדשים

נכון לפברואר 2023, פועלות בישראל 66 חברות העוסקות בתחליפי חלבון ו/או תחליפי מנות מהחי מרכיבים חדשניים, בשר מתורבת (בשר על בסיס תאי) וחרקים לצורך מאכל¹²⁸ וזאת בתוך כ-276 חברות העוסקות ב-FoodTech בישראל, בתחומים כמו הדברת מזיקים, אריזה, הובלה, שיווק ועוד (לפי נתוני Startup Nation Central Finder¹²⁹). החל מ-2015 החל גידול במספר החברות החדשות המוקמות בתחום מידי שנה ומספר זה נמצא במגמת עלייה. בשנים 2018-2021 הוקמו 10 חברות בשנה במוצע. בשנת 2022 לפי המאגר הוקמו רק 4 חברות, ירידה חדה בהשוואה לשנה קודמת, אך נתון זה יכול לנבוע מנתונים שטרם עודכנו. שתי הטכנולוגיות המרכזיות בחברות העוסקות בתחום הן: Biologicals technology ו-Materials & Substances.

איור 23: הטכנולוגיות העיקריות של חברות בתחום מקורות מזון אלטרנטיביים



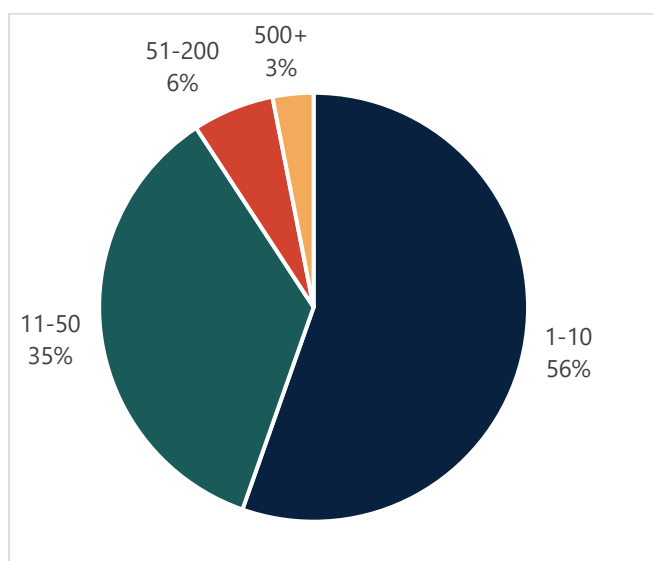
מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

רוב החברות, 91%, הן חברות קטנות שיש בהן עד 50 עובדים (ביותר ממחצית החברות (55%) עובדים עד עשרה עובדים). פרט לשתי חברות גדולות מאוד (מעל 500 עובדים): חברת Gan Shmuel Group וחברת ICL אין כלל חברות גדולות בתחום זה. נתונים אלה מחזקים את העובדה כי זהו תחום מתפתח ורוב החברות נמצאות בתחילת דרכן.

¹²⁸ חברות המתויגות במאגר המידע Startup Nation Central finder בתגית foodtech וגם בלפחות אחת מהתגיות הבאות: plant-proteins, recombinant-proteins, functional-proteins, sustainable-protein, alternative-protein, protein-based, protein

¹²⁹ קישור לאתר: <https://finder.startupnationcentral.org>

איור 24: גודל החברות לפי מספר העובדים בחברה



מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

מטבע הדברים חלק גדול מהחברות נמצא בשלבים התחלתיים. מבחינת שלב המימון: 68% מהחברות בתחום נמצאות בשלבים ההתחלתיים של Pre-Seed, Pre-Funding, Seed - ו- 32% נמצאים בסבבי גיוס שונים, כאשר מתוכם 17% נמצאים בסבבי B+A, גם נתון זה מצביע על חברות בתחילת דרכן.

9.6 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 היתר מיכולת של חוקרים ישראלים לעבוד עם חוקרים אחרים במחקר מולטידיסציפלינרי וממוינטין עולמי של חדשנות בתחום החקלאות. השוק המקומי הוא שוק קטן, כ-13% מהאוכלוסייה הם צמחונים (שיעור שהינו 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 אקוסיסטם 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 (חומס) (דוגמא לחברות בתחום: InnovoPro, ChickP), צמח המים מנקאי (דוגמא לחברה בתחום: Hinoman) ועוד. בנוסף לפחות שתי חברות עוסקות בהדפסת תלת ממד של תחליף בשר ממקור צמחי, ואחת מהן, Redefined meat, גייסה כ-\$170M.

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, 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 2016, et al.).

9.7 הכשרת כוח אדם לעבודה בתחום מקורות מזון חדשים

ההכשרה הנדרשת היא בתחום הנדסת מזון עם התמחות בתחום החלבון האלטרנטיבי. ההכשרה משתנה בהתאם לתחום הטכנולוגיה הרלוונטי אך מדובר בתחום מדעי מאד ולכן נדרשת הכשרה של תארים מתקדמים בכל המשרות: בתחומי הנדסת רקמות, ביוטכנולוגיה ומזון, צמחים, ביולוגיה, כימיה, ואולי אף הנדסת מכונות - עם מוכוונות לחלבון אלטרנטיבי. יש גם רלוונטיות גדולה לתחום של מדעי הבשר (כדי לשפר את ה mouth feel של התחליפים מבחינת הטעם, הרכב, טקסטורה). כיום בכל החוגים הללו אין התייחסות לאפליקציות של חלבון אלטרנטיבי ובהעדר תקנים ותקצוב רק בודדים יגיעו באמת לעסוק בתחום במסגרת התמחות או דוקטורט. במסלולי הביוטכנולוגיה ומזון המצב מעט יותר טוב (מבחינת הדגש על תחומי החלבון האלטרנטיבי) - אך זה חלק קטן ולא מעמיק מספיק את הידע הנדרש.

צפוי גידול משמעותי בביקוש בשנים הקרובות ויש להיערך לזה. מתוך זיהוי הצורך וכדי לתת לו מענה GFI ישראל כתבו ומעבירים את הקורס האקדמי הראשון לחלבון אלטרנטיבי בעולם, שמוצע השנה בשלוש אוניברסיטאות (העברית, תל אביב ובן גוריון) ויחשוף כ-150 סטודנטים לתארים מתקדמים וראשונים לתחום.

בפקולטה להנדסת ביוטכנולוגיה ומזון בטכניון קיים מסלול המכשיר מהנדסים לתחום, אבל מספר הבוגרים, במיוחד כאלה המסיימים תארים מתקדמים שהמחקר שלהם מתמקד בתחומי המזון אינו רב. באוניברסיטה העברית יש מסלול של מדעי המזון, במכללת תל חי יש בוגרים בתחומי מדעי המזון, אך אין שם תארים מתקדמים. במכללת בראודה יש מסלול לביוטכנולוגיה שכולל התמחות במזון.

יש צורך בכ"א בעל תארים גבוהים בתחומי המחקר הרלוונטיים, מהנדסי מזון, ביולוגים, מהנדסים ביו-רפואיים, בעלי ידע רחב בתהליכי פיתוח, מהנדסים עם ידע בפיתוח טכנולוגיות חדשות לתחום שמשלבות ביו-הנדסה וביוטכנולוגיה. נדרש רקע בביולוגיה ובמזון וידע בהנדסת רקמות וביולוגיה סינטטית.

מבחינת ההכשרה יש בישראל את המומחים שיכולים לתת את הכשרה הן בתחומי החקלאות, הגנטיקה, המזון אך התחום לא מקבל מיקוד ומשאבים מספקים באקדמיה.

להלן דוגמאות ממוסדות להשכלה גבוהה בהן קיימות תוכניות להכשרה בתחום:

האוניברסיטה העברית/הפקולטה לחקלאות

התמחות בביוטכנולוגיה ומדעי הצמח בחקלאות - התוכנית המקנה לסטודנטים את הידע הדרוש לעסוק בביוטכנולוגיה בתעשייה, בפיתוח המדעי, הניהול והשיווק וכן ללימודים לתארים מתקדמים. התוכנית הינה תוכנית משותפת לחוגים של מדעי הצמח, מדעי בעלי החיים, ביוכימיה ומדעי המזון, אגרואקולוגיה ובריאות הצמח וכלכלה חקלאית ומנהל. **תוכנית הלימודים** כוללת לימודי תשתית במדעי החיים ולימודי התמחות כגון: הנדסה גנטית, גנטיקה מולקולרית, גנומיקה ופרוטאומיקה,

אימונולוגיה, תרבויות תאים, תהליכי תסיסה ועוד. משך הלימודים 3 שנים בסיומן מקבלים את התואר B.Sc. בהתמחות בביוטכנולוגיה ומדעי הצמח בחקלאות. בוגרי התוכנית יכולים להשתלב בתעשיות הביו-טק והיי-טק כולל חברות העוסקות בפיתוח מוצרים בתחום החקלאות, המזון והרפואה, בביו-אינפורמטיקה ובגנומיקה

הטכניון

תואר ראשון בהנדסת ביוטכנולוגיה ומזון. תוכנית הלימודים מבוססת 3 תחומים עיקריים: **מדעי החיים והביוטכנולוגיה, הנדסה ומדעי המזון.** בתום שנתיים, הסטודנט בוחר באחד משני מסלולי התמחות: **ביוטכנולוגיה** – מסלול המציע קורסים מתקדמים בביוטכנולוגיה מולקולרית (הנדסה גנטית), מיקרוביולוגיה, תהליכי תסיסה, תהליכי הפרדה והשבה, ביולוגיה מולקולרית, אימונולוגיה ועוד. **הנדסת מזון** – במסלול זה מתמחה הסטודנט באספקטים הקשורים בהנדסה וטכנולוגיה של מזון, באריזה, תכנון מפעלים, תהליכי בקרה, מזון פונקציונלי, כלכלה, שיווק וניהול, אבטחת איכות ואמינות ועוד. בוגרי תואר ראשון בהנדסת ביוטכנולוגיה ומזון מקבלים בסיום לימודיהם תואר BSc משולב **“מוסמך בהנדסת ביוטכנולוגיה ומזון.”**

בנוסף, הפקולטה להנדסת ביוטכנולוגיה ומזון בטכניון מציעה מגוון מסלולים **לתארים מתקדמים.** לדוגמא, לימודים לתואר מגיסטר - **מגיסטר למדעים בהנדסת ביוטכנולוגיה ומזון.**

אוניברסיטת בן גוריון

תואר ראשון בהנדסת ביוטכנולוגיה - ארבע שנות הלימוד לתואר מהנדס ביוטכנולוגיה מאפשרות לסטודנטים ללמוד שילוב ייחודי של קורסים בסיסיים במדעי ההנדסה, ביולוגיה, כימיה ופיסיקה ובהמשך, קורסים מתקדמים בהנדסת ביוטכנולוגיה הכוללים: הנדסה גנטית, ביוריאקטורים והפרדת חלבונים, תרבויות תאים, כמו גם אתיקה ומשפט בביוטכנולוגיה ומנהל עסקים.

באוניברסיטת בן גוריון קיים גם **תואר שני בהנדסת ביוטכנולוגיה.**

מכללת בראודה

במסגרת תואר ראשון **בהנדסת ביוטכנולוגיה** ישנה התמחות **במזון** החל מהשנה השלישית. גם במסגרת התואר השני **בהנדסת ביוטכנולוגיה** ישנן תוכניות המשלבות התמחות במזון.

המכללה האקדמית "תל חי"

תואר ראשון - במדעי המזון-פודטק - במסלול זה מכשירים את הסטודנטים לפיתוח של מוצרי מזון חדשים. התואר כולל **סדנא לפיתוח מוצרי מזון** - קורס הדגל של החוג למדעי המזון, בשנה השלישית הסטודנטים מתחלקים לקבוצות של 3-4 סטודנטים ובהם הם נדרשים להציע רעיון למוצר חדשני שלא קיים בשוק. בעזרת הכלים שיש להם במטבח המזון, מעבדת החלב, מעבדת החישה והמחקר של תל-חי הם מפתחים את המוצר במשך שנה שלמה.

המכללה האקדמית הדסה

תואר ראשון בביוטכנולוגיה - הלימודים בחוג לביוטכנולוגיה במכללה האקדמית הדסה שמים זרקור והדגשה על המחקר היישומי. ההכשרה המלאה מאפשרת לסטודנט המסיים לעבוד בתחום הרפואה, המזון או חקלאות – בביולוגיה מולקולרית, תכנון תרופות ופרמקוגנומיקה, מבנה חלבונים, שימוש בביו-אינפורמטיקה, מיקרוביולוגיה וגנטיקה מולקולרית.

9.8 תחומי תואר/ ידע בסיסי רלבנטיים לתחום מקורות מזון אלטרנטיביים

קיימים סוגי טכנולוגיות שונות למקורות מזון אלטרנטיביים המתבססים על הדיסציפלינות הבאות:

- הנדסת מזון וביוטכנולוגיה
- חקלאות
- ביולוגיה, מיקרו-ביולוגיה וביולוגיה של התא
- כימיה, ביוכימיה וכימיה תהליכית
- הנדסת מכונת

9.9 צרכי התעשייה להכשרות LLL לתחום מקורות מזון אלטרנטיביים ובהסתכלות קדימה, הכשרות שיידרשו בעתיד

במסגרת העבודה הנוכחית נשלח שאלון לבחינת צרכי הכשרות LLL בחברות בתחום מקורות מזון אלטרנטיביים (רשימת העונים וסיכום ממצאי השאלון מופיע בנספח לחלק זה). להלן פירוט הצרכים כפי שעלו מהשאלון:

קיים קושי בגיוס כ"א עם הכשרה מתאימה וניסיון רלוונטי. מאחר שהתחום כל כך חדשני, מספר החוקרים שלמדו או חקרו אותו עדיין קטן. הדבר גורם לכך שיוזמות רבות לחדשנות אינן מקבלות מענה. לכן הכשרות LLL יכולות להוות פתרון לכוח אדם עם ידע מתאים.

כיום יש מחסור בחוקרים בתחום החלבונים האלטרנטיביים, פרוטאינים ואפיון תכונות. עם דגש על מחסור בחוקרים בתחום הבשר מהצומח, תעשייה שהולכת לצמוח באופן משמעותי ב-15-10 שנה הקרובות.

תחום החלבונים האלטרנטיביים התחום בעצם חולש על שלושה תחומי טכנולוגיה מרכזיים (בשר מתורבת, פרמנטציה ומזון מן הצומח) ולכל אחד מהם צרכים שונים מבחינת כוח אדם והכשרה. לכל אחד צרכי התמחות שונים, אך לכולם מכנה משותף של הנדסת מזון. בנוסף לכך התמחות במדעי הבשר (הרכב בשר, טעמי בשר, טקסטורת בשר) יכולה להיות רלוונטית לכל התחומים.

בפרמנטציה¹³⁰ לא נראה שיש חוסר במומחים, אם כי נדרשת הכשרה שלהם להבנה מעמיקה יותר על ההזדמנויות בתחום החלבונים האלטרנטיביים. אופציה להכשרה היא חשיפה למעבדות המתמחות בתחומים אלו בעולם במסגרת כנסים, פוסט-דוק, קורסי הכשרה בחו"ל ויישום הידע בארץ - פתיחת מעבדות אשר ירכשו כלים ממעבדות של מומחים עולמיים.

לאחרונה נוצרה הבנה על גודל השוק ורצון של גורמים רבים (משקיעים, חברות מזון) לקידום התחום, עם זאת, יצירת מומחים לוקחת זמן ויש לשים עליה יותר דגש.

בתחום "פיתוח מקורות חלבון מחרקים" אחת הבעיות היא הצורך לאתר אנשים המסוגלים "לקרוא" את החרקים ולתרגם זאת לטיפול טוב יותר ומקצועי יותר באורגניזם. הקשיים שהועלו בנושא: כוח אדם תפעולי מייקר מאד את התוצר הסופי, בראיונות עבודה מתגלה פער בין יכולת מקצועית, מוכנות לעבודה בפועל ולדרישות שכר ותנאים, חוסר מעוף וחשיבה מחוץ לקופסה. נדרש שינוי בתפישת הלימוד באקדמיה על מנת להכשיר כ"א לתחום וקידום קורסי הכשרה במסגרת LLL.

¹³⁰ פרמנטציה (Fermentation) - תסיסה היא תהליך כימי המשמש להפקת אנרגיה בחלק מהיצורים החיים. תהליך התסיסה מוכר לאדם מזה אלפי שנים, זאת הודות לתוצרים הסופיים של מספר תהליכי תסיסה במיקרואורגניזמים, תוצרים המשמשים את האדם רבות בתעשיית המזון.

תחום מקורות המזון האלטרנטיביים הוא תחום רחב שכל הנראה ידרוש ידע גם בעולמות הגידול (חקלאות, קרקע, אולי אף אנטומולוגיה) וגם בדרכים להפוך את הגידולים הללו למזון דבר שידרוש אנשי הנדסת מזון שיכולים לתרום לתחומי הייצור, התזונה, הבטיחות, הבטחת איכות וכד. כמו כן, בדומה לתחומים רבים נוספים יש צורך באנשים בעלי יכולות בתחום ה bigdata. יש מחסור וביקוש של חברות לאנשים בעלי תארים גבוהים שהינם גם בעלי ניסיון בתחום המזון וגם הבנה הנדסית טכנולוגית.

אין מחסור של ביולוגים וכימאים וצריך להקים הכשרות LLL בתחום שיתאימו לצרכי תעשייה זו.

9.10 מצב קיים - הכשרות LLL לתחום מקורות מזון אלטרנטיביים

במיפוי שערכנו בחלק א' של עבודה זו המעודכן נכון לדצמבר 2022, לא נמצאו תוכניות הכשרת LLL לתחום מקורות מזון אלטרנטיביים, העונות על הקריטריונים שנקבעו למחקר זה.

תחום הפודטק הכולל בתוכו את תחום מקורות המזון האלטרנטיביים הינו תחום צומח בישראל ובשנים הקרובות צפוי מחסור של כ-55 אלף עובדים (על פי סקרים שערכו רשות החדשנות וחברת The Good Food Institute Israel (GFI Israel) - מלכ"ר פעיל בתחום החלבונים האלטרנטיביים. בעקבות כך הוחלט ברשות לסבסד תוכנית להכשרת עובדים באמצעות בית הספר ללימודי המשך בטכניון¹³¹.

בפברואר 2023 נפתחה בטכניון תוכנית בנושא "חדשנות בפודטק ומזון העתיד". מטרת התוכנית להעניק לאקדמאים ולעובדי סקטור המזון את הידע והניסיון לקידום הפרודוקטיביות, היצירתיות והתחרותיות של חברות מבוססות וחברות הזנק בתחום המזון. מטרה זו תושג על ידי הכשרת עובדים ועתודות כ"א אקדמי לתפקידים בפודטק הדורשים אינטגרציה של ידע, כלים וניסיון מעשי בקדמת המדע והטכנולוגיה של הנדסת מזון. בוגרי התוכנית יקבלו ארגז כלים וידע שיאפשרו להם להוביל מו"פ וייצור של מוצרי מזון חדשניים, שימוש ושילוב טכנולוגיות מתקדמות וחדשנות ברת קיימא בסקטור הפודטק. התוכנית הינה בסבסוד של רשות החדשנות. היא מיועדת לבוגרי תארים בהנדסה, במדעי החיים ובמדעים המדויקים, וכן לעובדים בעלי עבר מוכח בתעשייה, הזקוקים לעדכון הידע וההכשרות שלהם. לדברי המנהל האקדמי של התוכנית, פרופ' אורי לזמס, בחודשים האחרונים פנו חברות שונות מהתעשייה לטכניון לתיאום הכשרות וימי עיון עבור העובדים, לצד סטארט-אפים המנסים לגייס כוח-אדם. תוכנית הלימודים כוללת את נושא החלבונים האלטרנטיביים ונושאי רגולציה¹³².

בוגרי אקדמיה חדשים (ג'וניורים) מגיעים ללא ידע פרקטי אמיתי הניתן ליישום. בתחילת עבודתם הם נדרשים להכשרה משמעותית. ההכשרה בתחומי מקורות מזון אלטרנטיביים בחברות ניתנת בעיקר תוך כדי עבודה (On-the-job training (OJT) הלימוד נעשה באמצעות לימוד עצמי בקריאת מחקרים וספרות אחרת הנוגעת לתחום, בתערוכות ייעודיות, בכנסים בנושא או תוך כדי עבודה עם חברות אחרות בשיתופי פעולה ובמידת הצורך נעשה שימוש בעובדים במיקור חוץ.

9.11 סיכום, מסקנות ותובנות לגבי צרכי כוח אדם לתחום

להלן התובנות העיקריות שעלו משאלון שנשלח לחברות בתחום מקורות מזון אלטרנטיביים לבחינת צרכי הכשרות LLL (רשימת העונים וסיכום ממצאי השאלון מופיע בנספח לחלק זה) וכן מעבודות קודמות של מוסד נאמן¹³³ וסקירת מקורות מידע לגבי כוח אדם נדרש לקידום והתפתחות תחום מקורות מזון אלטרנטיביים.

¹³¹ <https://www.globes.co.il/news/article.aspx?did=1001434073>

¹³² תוכנית חדשנות בפודטק ומזון העתיד – טכניון – ביה"ס ללימודי המשך

¹³³ ג'ן דפנה, בוכניק ציפי, גלעד ורד, ברזני אלה, רווה איילת. תחזיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי דו"ח סופי – שנה ד' חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2021. <https://www.neaman.org.il/Technological-forecasting>. העבודה כללה ראיונות ושאלונים מהם עלו המסקנות.

תעשיית הפודטק בכלל ותעשיית החלבונים האלטרנטיביים בפרט הולכת לצמוח באופן משמעותי בשנים הקרובות ועל כן יידרש כוח האדם עם הכשרה בתחומי הנדסת מזון, ביוטכנולוגיה, חקלאות, ביולוגיה, כימיה, מכונות וכדומה – עם הכשרה והרחבה בתחומי מקורות מזון אלטרנטיביים.

קיים קושי בגיוס כ"א עם הכשרה מתאימה וניסיון רלוונטי. מאחר שהתחום חדשני, מספר החוקרים שלמדו או חקרו אותו עדיין קטן. הדבר גורם לכך שיוזמות רבות לחדשנות אינן מקבלות מענה. לכן הכשרות LLL יכולות להוות פתרון לכוח אדם עם ידע מתאים.

תחום מקורות המזון האלטרנטיביים הוא תחום רחב שככל הנראה ידרוש ידע גם בעולמות הגידול (חקלאות, קרקע, אולי אף אנטומולוגיה) וגם בדרכים להפוך את הגידולים הללו למזון דבר שידרוש אנשי הנדסת מזון שיכולים לתרום לתחומי הייצור, התזונה, הבטיחות וכד. כמו כן, בדומה לתחומים רבים נוספים יש צורך באנשים בעלי יכולות בתחום ה bigdata. יש מחסור וביקוש של חברות לאנשים בעלי תארים גבוהים שהינם גם בעלי ניסיון בתחום המזון וגם הבנה הנדסית טכנולוגית.

אין מחסור של ביולוגים וכימאים וצריך להקים הכשרות LLL בתחום שיתאימו לצרכי תעשייה זו.

כיום יש מחסור בחוקרים בתחום החלבונים האלטרנטיביים עם דגש על מחסור בחוקרים בתחום הבשר מהצומח, תעשייה שהולכת לצמוח באופן משמעותי ב-15-10 שנה הקרובות. הנושאים שחסרים הם בנושאי **החלבונים האלטרנטיביים** התחום בעצם חולש על שלוש תחומי טכנולוגיה מרכזיים (בשר מתורבת, פרמנטציה ומזון מן הצומח) ובתחום **"פיתוח מקורות חלבון מחרקים"**.

על מנת לענות על צרכי התעשייה לכוח אדם בתחום נדרש לקדם תוכניות הכשרה במסגרת LLL.



9.12 נספחים

9.12.1 נספח א- ניתוח תשובות לשאלון בתחום מקורות מזון

אלטרנטיביים

העונים:

Biofood Systems	COO & Co-Founder	יוחאי בן זיכרי	-
Aleph Farms	CTO & VP, R&D	נטע לבון	-
FreezeM	CTO & Co-Founder	עידן אליגור	-
SavorEat	CEO & Co-Founder	רחלי ויזמן	-
Yemoja	CEO & Co-Founder	עמיקם בר-גיל	-
Hargol FoodTech	CTO	חנן אביב	-
InnovoPro	חדשים	ניצן נתני בן חיים מנהלת פרויקטים בפיתוח רכיבים חדשים	-

1. מהי הדיסציפלינה האקדמית שבה קיבלו הכשרה המהנדסים שעובדים כיום בחברה שלך, ואיזה הכשרה נוספת נדרשת לצורך פעילות החברה בתחום מקורות מזון אלטרנטיביים?

- האוניברסיטה העברית, הטכניון, מכללת תל חי. כיום רוב ההכשרה בנושא מזון אלטרנטיבי מתבצעת באופן לא מאורגן בתעשייה, במיזמים חדשים. הכל לפי צורך
- ההכשרה שקיבלו המהנדסים בחברה היא הנדסת מכונות, כימיה תהליכים, ביוטכנולוגיה ומזון. יש מדענים נוספים בחברה שאינם מהנדסים ביניהם ביולוגים של התא, טכנולוגים של מזון, כימאים וביוכימאים.
- מהנדסי מכונות. נדרשו להדרכה מקומית בחברה.
- מגוון – מהנדסי מזון (טכניון), טכנולוגי מזון (תל חי/אוניברסיטה העברית)
- כל העובדים הוכשרו בתחום הביולוגיה או המיקרוביולוגיה. מהנדס אחד הוא מהנדס מזון ומהנדס שני הוא מהנדס כימיה/ביוטכנולוגיה.
- מהנדסי מזון וביוטכנולוגיה ומהנדסי כימיה וחומרים, מהנדס סביבה, ביוטכנולוגיה (מדעי החיים), טכנולוג מזון

2. האם ניתנת לעובדי החברה שלך הכשרה בתחום מקורות מזון אלטרנטיביים (בתוך החברה או הכשרה חיצונית)? במידה וכן איזה הכשרה?

- תערוכות ייעודיות, מחקרים וספרות אחרת הנוגעת לתחום
- כל החברה עוסקת בפיתוח מזון אלטרנטיבי – אנחנו משתתפים בכנסים בנושא
- מדובר בהכשרה ברמת ההיכרות עם שיטות העבודה והביולוגיה ברמת החברה
- שלושה ענו כי אין הכשרות פורמליות.
- חלק מהלימוד נעשה עצמאית או תוך כדי עבודה עם חברות אחרות בשיתופי פעולה.
- ההכשרה לעובדים היא פנימית. ובמידה ויש צורך נעשה שימוש במומחים במיקור חוץ.

3. האם קיימים צורכי הכשרת כוח אדם בתחום מקורות מזון אלטרנטיביים שאין להם כיום מענה?

- בעיקר חסרים מדענים או מהנדסי פיתוח תהליכים בירוקרטים וכן עובדי ייצור מתאימים לעבודה במערכות תעשייתיות של ביוראקטורים ומהנדסי מזון בעלי תארים מתקדמים
- בתחום החרקים המועילים ההכשרה האנטמולוגית היא כללית ולא מתמקדת בזבוב החייל השחור.
- פרוטאינים ואפיון תכונות
- בעולמות של הרגולציה ואיכות
- הנושא של מקורות מזון אלטרנטיביים הוא מולטי דיסציפלינרי ולכן יהיה קשה להצביע על משהו ספציפי להתמקד בו.
- בוגרי אקדמיה חדשים (ג'וניורים) מגיעים ללא ידע פרקטי אמיתי הניתן ליישום. הם חייבים לעבוד בחברות אמיתיות, הכשרה משמעותית בכדי להיות כשירים לתפקידי מו"פ.

4. האם צפוי שינוי בהכשרות שיידרשו לכוח האדם בתחום זה בעתיד הקרוב מבחינת כמות ו/או סוג הכשרה והאם נדרשת היערכות/ התאמת ההכשרות לקראת שינויים אלו?

- תחום גידול זבוב החייל השחור מתפתח וגדל בארץ ועל כן יש להתאים את תוכניות הלימוד באקדמיה.
- רגולציה, איכות, ייצור

10. אגירת אנרגיה

10.1 רקע¹³⁴

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-4,000MW¹³⁵ 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). גידול משמעותי חל גם בשוק אגירת האנרגיה באירופה שגדל בשנת 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 ולנדרשת 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. טכנולוגיית האגירה הינה בעלת פוטנציאל כלכלי משמעותי, היות שמערכות אלו מייעלות 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.

¹³⁴ מבוסס על ג' דפנה, בוכניק ציפי, גלעד ורד, ברזני אלה, רוה איילת. תחזיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי דו"ח סופי – שנה ד' חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2021. <https://www.neaman.org.il/Technological-forecasting>

¹³⁵ מנה-ואט (MW) שווה ל-1,000,000 ואט; גיגה-ואטשעה (GWh) שווה למיליארד ואטשעה; קילוואטשעה (קוט"ש) (kWh), שווה ל-1000 ואטשעה

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).

פוטנציאל שוק אגירת האנרגיה בעולם

שוק האנרגיה הסולארית הפך לאחת התעשיות בעלות הצמיחה המהירה ביותר בשנים האחרונות. הצמיחה של אנרגיה סולארית הינה אחת הטכנולוגיות המובילות כמענה לביקוש למערכת אחסון האנרגיה. בשנת 2016, ההשקעה העולמית בתחומים אלה היתה 113.7 מיליארד דולר, כאשר אסיה מובילה את השוק. גרמניה היא אחת המדינות המובילות בתחום אחסון אנרגיה עבור מערכת אנרגיה מתחדשת.

בשנת 2017, בוצעו ברחבי העולם, כ-1,315 פרויקטים באמצעות טכנולוגיות אחסון אנרגיה ו-14 פרויקטים עדיין בשלבי הקמה. כיום השוק מרוכז מאוד במדינות ארצות הברית, גרמניה, יפן ואוסטרליה. סוללות ליתיום יון צפויות להיות מערכות אחסון האנרגיה המהירות ביותר, הודות לעוצמתן הגבוהה ולצפיפות האנרגיה הגבוהה שלהן. בהנחה שהשקעות המו"פ בתחומים אלה ימשיכו לגדול, טכנולוגיות האחסון צפויות להיות יעילות יותר מבחינה כלכלית. השוק צפוי להמשיך ולגדול בשל הדרישה הקיימת לאספקת חשמל איכותית ויעילה הדורשת פיתוח של תשתיות של רשת חכמה.

אגירת אנרגיה בישראל

הפעילות הקיימת בישראל בתחום הינה של משרדי ממשלה (משרד האנרגיה והמשרד להגנת הסביבה), הרשות לחדשנות, רשות החשמל וחברות בתחום האנרגיה והסביבה כולל בתחום אגירת אנרגיה, שבמסגרתה נבחנות אפשרויות של אגירה וקצירה של אנרגיה בהקשרים שונים. בין תחומי הפעילות של משרד האנרגיה, שדירוג של רשת החשמל הקיימת לרשת חכמה¹³⁶ (Smart Grid), שכרוך 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 ייושמו לצורך איסוף וניתוח כמויות מידע גדולות בזמן אמת באמצעות מערכות שליטה ובקרה בנקודות רבות על פני הרשת.

היתרונות והחסמים של ישראל בתחום

על בסיס הראיונות שקיימו¹³⁷ וסקר הספרות שערכנו, מסוכמים להלן היתרונות והחסמים להתפתחות תחום אגירת האנרגיה בישראל.

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 שנים¹³⁸. מדינת ישראל היא מדינה מוצפת שמש וניתן לנצל אותה לטובת הפקת חשמל. ישראל רווייה בקרינה סולארית, ועלות הייצור מאנרגיה סולארית נמוכה בה מעלות הייצור הקונבנציונלית¹³⁹. על פי דוח משרד האנרגיה (אוקטובר 2018)¹⁴⁰ בנושא "יעדי משק האנרגיה לשנת 2030", רובה המכריע של האנרגיה המתחדשת בישראל צפויה להתקבל ממערכות סולריות המבוססות על אנרגית שמש.
- **פעילות מו"פ של חברות סטארט אפ לצד פעילות תעשייתית של חברות תעשייתיות ותיקות.** בישראל קיימות תשתית של 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.
- **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.
- **כוח אדם למחקר בנושא אגירת אנרגיה.** ישנם בארץ מרכזי מחקר מתקדמים העוסקים בתחום האנרגיה בכלל ואגירת אנרגיה בפרט. לצד מרכזי המחקר, חוקרים באוניברסיטאות עוסקים ומפרסמים מחקרים בתחום.

חסמים לתחום אגירת האנרגיה בישראל:

- **רגולציה ותקינה.** עיקר הכשלים מתמקדים בנושא הרגולציה והתקינה. יש להניע את שוק האנרגיה יותר לכיוון של אנרגיה ירוקה והורדת חסמים. הכשל המתמשך בשוק האנרגיה הוא במעבר לאנרגיה ירוקה. אגירת אנרגיה של מערכות PV קטנות במצברים בבתים היא שיטה המתפתחת אצל יצרנים פרטיים קטנים השואפים למקסם את ערך האנרגיה שהם מיצרים. בדרך כלל לשימוש עצמי וייתכן גם למכירה לרשת. נושא זה עדיין לא מוסדר מבחינת הרגולציה בארץ⁷¹.

¹³⁷ רשימת המרואיינים: מתיו סאס – ראש המעבדה לאנרגיה אלקטרוכימית ומים בטכניון; ד"ר נורית גל – סמנ"כלית חשמל ורגולציה, רשות החשמל; פרופ' דורון אורבך מהמחלקה לכימיה והמכון לננוטכנולוגיה זכה בפרס ראש הממשלה ע"ש סמסון לחדשנות בתחום תחליפי נפט לתחבורה; פרופ' גרשון גרוסמן - עמית מחקר בכיר במוסד שמואל נאמן, ראש פרויקט פורום אנרגיה וחבר בפקולטה להנדסת מכונות בטכניון; ברק עידן – ראש תחום טכנולוגיות בקבוצת אגירת האנרגיה של חברת אורמת וד"ר יוסי אליה, ראש תחום הנדסה; עידן ליבס ונעמה שפירא, מוסד שמואל נאמן; עופר גולדהירש, הרשות לחדשנות; <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/30349/110879-BRI-EM-Compass-Note-23-138> <https://www.sviva.gov.il/subjectsenv/greenbuilding/producing-energy-in-buildings/documents/solar-energy-139> http://www.gov.il/BlobFolder/news/plan_2030/he/2030summary.pdf¹⁴⁰

• **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 החשמל¹⁴¹.

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. כיום, אין ניצול של המשאבים הקיימים: הים התיכון והכנרת וניצול הפרש הגבהים ביניהם. "תעלת הימים" התיימרה לתת ערך רב בגלל הפרש הגבהים בין הים התיכון לעמק הירדן⁷¹. בשנת 2021 מועצה אזורית הגליל העליון והחברה לפיתוח הגליל הודיעו כי בהשקעה של כ- 470 מיליון דולר אושר מיזם תחנת כוח לאגירה שאובה בצוק במנרה. ההספק: 156 מגה וואט. ההקמה צפויה להסתיים ב-2027¹⁴². באתר חברת פרוג'קט פרו¹⁴³ מדווח כי לצד התחנה בגלבו מוקמת תחנת כוח נוספת של אגירה שאובה בהספק של 340 מגה וואט. התחנה מוקמת על ידי החברה הסינית SINO HYDRO שחברה לתה"ל הישראלית. העבודה כוללת כריית מנהרה שתזרים מים מגובה של 420 מטר. הפרויקט נחשב למורכב מבחינה הנדסית ועתיר הון. חברת פרוג'קט פרו מספקת שירותי כ"א מקצועי עבור פרויקט זה כגון: עובדים כלליים, פועלים, אנשי אדמיניסטרציה, ממוני בטיחות ומנהלי עבודה, כולל אנשי מקצוע ומתורגמנים דוברי סינית היכולים לתת מענה ייחודי לחברות סיניות הפועלות בישראל.

10.2 חברות בישראל בתחום אגירת אנרגיה¹⁴⁴

נכון ל- 2/2023, בישראל פועלות 47 חברות העוסקות באגירת אנרגיה. בעשור האחרון חלה עליה במספר החברות הפועלות בתחום אגירת אנרגיה בישראל מ-10 חברות בשנת 2009 ל-47 חברות ב-2022. כאשר מספר החברות בעשור האחרון הכפיל את עצמו.

29 חברות פועלות בתחום הקלינטק. בשנים 2010-2022 הוקמו 20 חברות בתחום זה. נתון זה מעיד על גידול בתעשיית הקלינטק שמיועדת, בין היתר, גם לפיתוח מערכות לאגירת אנרגיה. הגידול נובע מהצורך בהתמודדות עם זיהום האוויר והכנסת אנרגיה נקייה לשימושים של אנרגיות מתחדשות ואגירת אנרגיה לתחום.

שלב פיתוח המוצר: 44% מהחברות נמצאות בשלב Released של המוצר ושליש מהן (34%) נמצאות בשלב המו"פ (R&D) של המוצר. שאר החברות נמצאות בשלבי Alpha ו- Beta של המוצר.

¹⁴¹ מתוך הריאיון עם פרופ' גרשון גרוסמן

¹⁴² https://kibbutz.mynet.co.il/local_news/article/SyqwzYFIId

¹⁴³ <https://www.projectpro.co.il/project/storage-power-plant> - חברה המספקת עובדים בתחום תשתיות

¹⁴⁴ הנתונים בתת פרק זה הינם עיבוד של מוסד נאמן לנתוני המאגר Startup Nation Central Finder אלא אם צוין אחרת.

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

החברות המופיעות במאגר ה- Startup Nation Central Finder הן חברות בעלות תיוג של Energy-storage ומופיעות כפעילות

במאגר זה, נכון פברואר 2023.

שלב המימון: שליש מהחברות הן בשלבי Pre-Funding. כשליש נוסף מהחברות נמצאות בשלב מימון Pre-seed או Seed. מה שמסמן על תעשייה צעירה בשלבי התהוות. מתוך 47 חברות ב-34 מהן הייתה השקעה כלשהי וסה"כ הושקעו מעל לשני מיליארד דולר בחברות אלו. ארבעת החברות המובילות בגובה המימון היו: Brenmiller Energy ; New BrightSource ; Energy ; Ormat Technologies ; StoreDot.

גודל החברות: מתוך 47 החברות שנסקרו, 25 (53%) הן חברות קטנות של עד 10 עובדים לחברה. 30% מהחברות הן חברות של עד 50 עובדים, 15% מהחברות הן בינוניות ומונות בין 50 ל-200 עובדים ורק חברה אחת - אורמת המעסיקה למעלה מ-500 עובדים. נתונים אלה מחזקים את העובדה כי זהו תחום מתפתח ורוב החברות נמצאות בתחילת דרכן.

10.3 תשתית אקדמית בתחום אגירת אנרגיה

בישראל פועלים מספר מרכזי מחקר אקדמיים בתחום אגירת אנרגיה:

- **המרכז למחקר הנעה אלקטרוכימית בישראל**¹⁴⁵ **Israel National Research center for Electrochemical propulsion (INREP)**. נושא האנרגיה האלקטרו-כימית באקדמיה נעשה כיום בישראל במרכז זה. מוביל המרכז 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 בטכניון**¹⁴⁶. במרכז מתבצע מחקר בנושא אגירה והמרה של אנרגיה (סוללות ותאי דלק) ובנושאים נוספים כגון דלקים חלופיים, אנרגיות מתחדשות ושימור אנרגיה. פרופ' יאיר בין עלי הוא בין החוקרים המובילים במרכז בנושא אגירת אנרגיה במחקריו בנושא משטחי אלומיניום באלקטרוליטים אורגניים עבור סוללות אלומיניום-אזר.
- **המרכז לאנרגיה מתחדשת באוניברסיטת תל אביב**¹⁴⁷. 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 בנו-מבנים של אלקטרודות ואלקטרוליטים מוצקים עבור התקני אחסון אנרגיה.
- **המרכז לננו טכנולוגיה וחומרים מתקדמים באוניברסיטת בר אילן**¹⁴⁸. המרכז עוסק בפיתוח אמצעים לאנרגיה מתחדשת: תאים פוטו-וולטאיים, אגירת אנרגיה, אנרגיה סולרית תרמית ושימור אנרגיה. בין החוקרים במרכז, פרופ' דורון אורבך מהמחלקה לכימיה הפועל לפיתוח סוללות לאגירה. פרופ' אורבך זכה בפרס ראש הממשלה ע"ש סמסון לחדשנות בתחום תחליפי נפט לתחבורה בשנת 2019. פרופ' דורון אורבך זכה בפרס על תרומתו פורצת הדרך לפיתוח סוללות מסוג חדש, בהן סוללה חדשנית מבוססת

<http://inrep.org.il/>¹⁴⁵

<https://gtep.technion.ac.il/he/>¹⁴⁶

<https://www.tau.ac.il/renewable-energy/>¹⁴⁷

<https://nano.biu.ac.il/he/research-centers/energy/>¹⁴⁸

מגזרים. למחקריו פוטנציאל גדול להביא לפיתוח סוללות חדשניות להנעת מכוניות חשמליות ובכך להוות תחליף לדלק פוסילי-נוזלי¹⁴⁹.

- **המרכז הלאומי לאנרגיה שמש שדה בוקר באוניברסיטת בן גוריון**¹⁵⁰. 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 בעילות גבוהה מאוד, פוטו-וולטאיקה אורגנית, אלקטרוליטים מרוכזים מאוד לקבלים-על וסוללות, אור- מטא-חומרים תגובתיים ומשטחים אלקטרו-מולקולריים.

- **המרכז לחקר האנרגיה אוניברסיטת אריאל**¹⁵¹. אגירת אנרגיה כימית הינה בין הנושאים הנחקרים במרכז. בין חוקרי המרכז ד"ר משה אברבך, ראש המעבדה למערכות אגירה חשמליות.

10.4 תחומי תואר/ ידע בסיסי רלבנטיים לתחום אגירת אנרגיה

כפי שצוין בסקירה, קיימים סוגי טכנולוגיות שונות לאגירת אנרגיה: אנרגיה כימית, אנרגיה תרמית, אנרגיה מכנית, אנרגיה מימן ואנרגיה מימן ואנרגיה מים. הדיסציפלינות הבסיסיות הן:

- הנדסת חשמל ואלקטרוניקה
- הנדסה כימית
- כימיה
- הנדסת מכונות.

בתחומים מסוימים נדרש גם:

- מדעי המחשב
- הנדסת מחשבים
- ננוטכנולוגיה
- והנדסת חומרים (פולימרים).

10.5 לימודים לתואר בתחום אגירת אנרגיה

פרק זה מבוסס על עבודות קודמות של מוסד נאמן¹⁵² ועל שאלון לבחינת צרכי הכשרות LLL בחברות לתחום אגירת אנרגיה שנשלח במסגרת העבודה הנוכחית¹⁵³ (סיכום ממצאי השאלון מופיע בנספח לחלק זה). הצרכים שעלו מובאים להלן:

באגירת אנרגיה צריך את השילוב של אלקטרוכימיה, חשמל ו-data science. הקורסים שניתנים במוסדות האקדמיים הם בעיקר באלקטרוכימיה, מקורות כוח ומדע חומרים נותנים את ההכשרה הבסיסית הנדרשת לתחום. הכשרת כוח אדם לתחום נעשית בלימודים

¹⁴⁹ <https://www1.biu.ac.il/index.php?id=3&pt=20&pid=3&level=2&cPath=3&type=1&news=3226>

¹⁵⁰ <https://in.bgu.ac.il/en/solar/Pages/default.aspx>

¹⁵¹ <https://www.ariel.ac.il/wp/energy-research-center/>

¹⁵² ¹⁵² מבוסס על ג' דפנה, בוכניק ציפי, גלעד ורד, ברזני אלה, רווה איילת. תחזיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי דו"ח סופי – שנה ד' חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2021.

¹⁵³ רשימת העונים לשאלון LLL לתחום אגירת אנרגיה: דויד פינקו- סמנכ"ל פיתוח והיום סמנכ"ל רגולציה ומהנדס ראשי, Zooz Power; סוניה דוידסון- CEO & Founder, H2 Energy Now; שי כהן- CEO & Co-Founder, Storage Drop; ירון פיין- EVP R&D, StoreDot; רמי פרידלנדר- Founder & CTO, sol-chip; דויד יעקב- CEO, ISRAZION; ארז שרייבר- CEO, 3DBattery; ארנון בלוס - CEO, Silib;

אקדמאים של המקצועות הבאים: **הנדסת חומרים, כימיה, הנדסת כימיה, הנדסת מכונות, הנדסת חשמל, הנדסת אנרגיה והנדסת איכות הסביבה ומשאבי טבע.**

המוסדות האקדמיים שבהם ניתן ללמוד לתואר את המקצועות האלה: הטכניון, אוניברסיטת בן גוריון, אוניברסיטת אריאל, אוניברסיטת תל אביב, האוניברסיטה העברית, מכון ויצמן וכן במכללות שונות כגון: מכללת בראודה, סמי שמעון ותל חי.

מסקירה של מסלולי הלימוד של מסלולי הלימוד בהנדסת אנרגיה, להלן מספר דוגמאות של תוכניות הכשרה לתחום:

במכללת כנרת: לימודי הנדסת אנרגיה וגז טבעי¹⁵⁴

במכללת אפקה: לימודי הנדסת אנרגיה לתואר שני¹⁵⁵

המכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון: לימודי הנדסת כימיה בהתמחות אנרגיה SCE¹⁵⁶; לימודי הנדסת מכונות ומערכות אנרגיה SCE¹⁵⁷

באוניברסיטת בן גוריון: לימודי הנדסת כימיה בהתמחות סביבה ואנרגיה¹⁵⁸; לימודי הנדסת מכונות בהתמחות אנרגיה גרעינית¹⁵⁹; תואר שני בהנדסת אנרגיה¹⁶⁰; תואר שני בלימודי מדבר בהתמחות אנרגיה סולרית¹⁶¹

באוניברסיטת חיפה: תואר שני בניהול ומדיניות אנרגיה¹⁶²

מסקירת ההכשרות עולה כי קיימת מגמה של גידול במספר התוכניות והקורסים.

הקורסים שניתנים במוסדות האקדמיים בעיקר באלקטרוכימיה, מקורות כוח, מדע חומרים נותנים את ההכשרה הבסיסית הנדרשת ויש גם קורסים בתארים מתקדמים. בראיונות נאמר שהכשרה טובה נעשית גם בתאגידי מחקר – עשרות סטודנטים, דוקטורנטים ופוסט דוקטורנטים שעושים עבודות מחקר. המחסור בתחום הוא בעוזרי מחקר ומנהלי מעבדות שיכשירו את דור הסטודנטים הבא. כדי שתחום זה יפרוץ ויתפתח קיים חסר בארץ במעבדות ובהכשרה מעשית לסטודנטים של תואר ראשון ושני שיאפשרו לחשוף את הסטודנטים לתחום. מקצועות כמו חומרים והנדסה כימית הם מקצועות מפתח לתחום אגירת אנרגיה. מספר הסטודנטים הלומדים מקצועות אלה שמהווים עתודה גם לתחומים רבים אחרים הינו נמוך ביותר.

10.6 צרכי התעשייה להכשרות LLL לתחום אגירת אנרגיה ובהסתכלות קדימה, הכשרות שיידרשו בעתיד

במסגרת העבודה הנוכחית נשלח שאלון לבחינת צרכי הכשרות LLL בחברות בתחום אגירת אנרגיה (רשימת העונים וסיכום ממצאי השאלון מופיע בנספח לחלק זה). להלן פירוט הצרכים כפי שעלו מהשאלון:

אחד העונים ציין כי באיחוד האירופי יש 250,000 אנשים העובדים באנרגיה מתחדשת ובאגירת אנרגיה. זהו שוק גדול באיחוד האירופי לעומת ישראל. בישראל אין מודעות והשקעה

¹⁵⁴ מכללת כנרת

¹⁵⁵ מכללת אפקה

¹⁵⁶ הנדסת כימיה בהתמחות אנרגיה SCE

¹⁵⁷ לימודי הנדסת מכונות ומערכות אנרגיה SCE

¹⁵⁸ באוניברסיטת בן גוריון: לימודי הנדסת כימיה בהתמחות סביבה ואנרגיה

¹⁵⁹ באוניברסיטת בן גוריון: לימודי הנדסת מכונות בהתמחות אנרגיה גרעינית

¹⁶⁰ באוניברסיטת בן גוריון: תואר שני בהנדסת אנרגיה

¹⁶¹ באוניברסיטת בן גוריון: תואר שני בלימודי מדבר בהתמחות אנרגיה סולרית

¹⁶² באוניברסיטת חיפה: תואר שני בניהול ומדיניות אנרגיה

ממשלתית לתחום זה. באיחוד האירופי קמו בתחום אנרגית מימן למעלה מ-12 חדי קרן. זה תחום מתפתח ויש צורך בהכשרה מתמדת. בעיקר חסר מומחים עם תארים מתקדמים בתחום.

הבעיה בישראל שאין בארץ מפעלים בתחום שבהם עובדים יכולים לצבור ידע וניסיון. השוק בישראל קטן מדי. יש את חברת תדיראן שמתמקדת בנושא הסוללות. הרבה אנשים שרוצים לעסוק בתחום עוזבים לאירופה ולארה"ב לעבוד שם.

נושאים ממוקדים יותר שעלו מהשאלות היו:

- בנושא הנדסת מכונות דרושה הכשרה במכונות סובבות במהירות גבוהה (עשרות אלפי סל"ד)
- בנושאי אלקטרוניקה נדרשת הכשרה בהמרת אנרגיה
- תכן מנועים חשמליים, BRUSHLESS DC AND RELUCTANCE, תכן בקרי סרון,
- תארים מתקדמים שני ושלישי בהנדסת מכונות הנדסת חשמל
- מיקוד בתחומי אנרגיה, בקרה, זרימה מעבר חום ומסה
- הכשרה בתחום הסוללות – אלקטרוכימיה;
- השוואה של יתרונות וחסרונות בין טכנולוגיות קיימות (מהנדסי החשמל);
- חסרה פרקטיקה של יצור סוללות מודרניות, והתעמקות בנושאים תיאורטיים
- חסרה מאוד המומחיות בתחומי ייצור של תאי סוללות
- יצור סוללות Li-ion.
- קיים מחסור בתחום אנרגיות מתחדשות ושילוב ויישום אגירת אנרגיה במערכות קיימות
- התאמת טכנולוגיה לאפליקציה
- חישוב עלויות אגירה תוך הכללת OPEX CAPEX
- מבנה מערכת - מכולות או בניה באתר
- סוגי איבוד האנרגיה במערכת
- השפעת טמפי' עבודה למיקום גיאוגרפי

לגבי הכשרות עתידיות שידרשו עלו הנושאים הבאים:

- נראה שתחום סוללות solid-state עומד להיות מאד "חם" בשנים הקרובות. אחרי ההתלהבות הראשונית שפתרון קיים מעבר לפינה, כנראה שידרשו עוד הרבה שנות מחקר ופיתוח עד שנוכל לראות סוללות כאלה ביצור המוני.
- בעתיד יהיה צורך באנרגיות מתחדשות ושילוב ויישום אגירת אנרגיה במערכות קיימות.

10.7 מצב קיים - הכשרות LLL לתחום אגירת אנרגיה

במיפוי שערכנו בחלק א' של עבודה זו, לא נמצאו תוכניות הכשרת LLL לתחום אגירת אנרגיה, העונות על הקריטריונים שנקבעו למחקר זה.

10.8 סיכום והמלצות למדיניות בהכשרות LLL לתחום אגירת אנרגיה

שוק האנרגיה הסולארית הפך לאחת התעשיות בעלות הצמיחה המהירה ביותר בשנים האחרונות. הצמיחה של אנרגיה סולארית הינה אחת הטכנולוגיות המובילות כמענה לביקוש למערכת אחסון האנרגיה.

למדינת ישראל יתרונות רבים בתחום אגירת האנרגיה. המרכזי שבהם הוא שמדינת ישראל היא מדינה מוצפת שמש וניתן לנצל אותה לטובת הפקת חשמל. ישראל רוויה בקרינה

סולארית, ועלות הייצור מאנרגיה סולארית נמוכה בה מעלות הייצור הקונבנציונלית¹⁶³. יתרונותיה של ישראל כתרבות Startup nation מאפשרים אקוסיסטם של חדשנות פורצת דרך בתחום אגירת אנרגיה ליצירת סביבה הנקייה מזיהום ופליטה¹⁶⁴. 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. החברות העוסקות באגירת אנרגיה וקלינטק, עוסקות בתחום באופן ישיר או כחלק מאפליקציה ספציפית שלהן. בנוסף, בישראל ישנה פעילות רבה של חברות הייטק וסטארט-אפים בתחומי פיתוח תוכנה, פיתוח בסיסי נתונים ו-big data, שגם הוא מהווה פוטנציאל להפניית יכולות אלה לפיתוח מערכות ניהול המשלבות מגוון מקורות כגון אגירה חכמה. ישנם בארץ מרכזי מחקר מתקדמים העוסקים בתחום האנרגיה בכלל ובאגירת אנרגיה בפרט.

לחברות סטארט אפ או לחברות קטנות אין את המשאבים לבצע הכשרות, ולכן רוב החברות מעסיקות כוח אדם מומחה או יועצים עם ההכשרה הנדרשת או מכשירות פנימית וייעודית לצורכי החברה.

מעבודות קודמות שנעשו במוסד נאמן, רוב המומחים טוענים שאין כיום מענה לצורכי כוח האדם הנדרש בתחום. זה תחום חדש יחסית בעולם שכולל טכנולוגיות שונות שמרבית האוניברסיטאות והמכללות להנדסה עדיין לא כוללות בתוכנית הלימודים, כל שכן אין תוכניות או קורסים במסגרת לימודי LLL. לכל טכנולוגיה או דיסציפלינה של אגירת אנרגיה דרושה הכשרה שונה: -בנושא הנדסת מכונות דרושה הכשרה במכונות סובבות במהירות גבוהה; בנושאי אלקטרוניקה נדרשת הכשרה בהמרת אנרגיה; תכן מנועים חשמליים, מיקוד בתחומי אנרגיה, בקרה, זרימה מעבר חום ומסה; הכשרה בתחום הסוללות – אלקטרוכימיה; תחום מרכזי שעלה הוא הכשרות בכל תחומי הסוללות (תאי סוללות, סוללות Li-ion) וכן הנדסת מערכת (שילוב הטכנולוגיה במערכות קיימות).

מחסור נוסף שעלה הוא בכוח אדם תארים מתקדמים שני ושלישי בהנדסת מכונות והנדסת חשמל בתחומים של אגירת אנרגיה, יתכן והכשרות LLL בתחומים נדרשים לתעשייה יוכלו לענות על צורך זה. לתחום אגירת אנרגיה יהיה צורך בפעילות מקיפה על מנת לאתר נושאים נוספים ולבחון את ההתכנות לקיום תוכניות בנושאים אלה.

<http://www.sviva.gov.il/subjectsenv/greenbuilding/producing-energy-in-buildings/documents/solar-energy-nir-163-lotan.pdf>

https://www.neaman.org.il/Files/6-446_20170424122145.014.pdf¹⁶⁴

10.9 נספחים

10.9.1 נספח א- ניתוח תשובות לשאלון בתחום אגירת אנרגיה

העונים:

- Zooz Power - דויד פינקו - סמנכ"ל פיתוח והיום סמנכ"ל רגולציה ומהנדס ראשי
- H2 Energy Now - סוניה דוידסון - CEO & Founder
- Storage Drop - שי כהן - CEO & Co-Founder
- StoreDot - ירון פיין - EVP R&D
- sol-chip.com - רמי פרידלנדר - Founder & CTO
- ISRAZION - דויד יעקב - CEO
- DBattery3 - ארז שרייבר - CEO
- Silib - ארנון בלום - CEO

5. מהי הדיסציפלינה האקדמית שבה קיבלו הכשרה המהנדסים שעובדים כיום בחברה שלך, ואיזה הכשרה נוספת נדרשת לצורך פעילות החברה בתחום אגירת אנרגיה?

התחומים הראשיים:

- הנדסת חשמל ואלקטרוניקה
- הנדסה כימית
- כימיה
- הנדסת מכונות
- בתחומים מסוימים נדרש גם:
- מדעי המחשב
- הנדסת מחשבים
- ננוטכנולוגיה
- והנדסת חומרים (פולימרים).

6. האם ניתנת לעובדי החברה שלך הכשרה בתחום אגירת אנרגיה (בתוך החברה או הכשרה חיצונית)? במידה וכן איזה הכשרה?

המהנדסים מקבלים העשרה בתוך החברה על ידי שימוש במספר פלטפורמות: מספר חברות פרטיות המציעות שיעורים וגם במומחים בתחום. הרבה הרצאות ביוטיוב בנושאים כמו חשמל; שיעורים מקוונים מ MIT - Continuing Education על עיצוב מוצר בפרט על עיצוב מעבורות החלל, תובנה נהדרת כיצד מהנדסי נאס"א התגברו על הקשיים בתכנון המעבורת; רכישת ספרים על ג'יימס סי מקסוול ומייקל פארדיי על איך הם חשבו להמציא ארבעה כוחות של אנרגיה חשמל, מגנטיות, אלקטרומגנטיות ואור; שיעורים מקוונים ממכון Energy Delta בנושא מימן; שיעורים בנושא מימן המוצעים בגרמניה ובאינטרנט.

תחום תכנון ויצור סוללות מכיל מבחר גדול של דיסציפלינות, החל מהבנה בסיסית בתהליכים האלקטרוכימיים, וכלה בפרקטיקה של הכנת פורמולציות, הכנת אלקטרודות, סימולציות אלקטרוכימיות, חשמליות, מכניות ותרמיות, תקני בטיחות של סוללות, וכ"ו. כל התחומים הללו אינן נרכשים במוסדות אקדמיים בצורה מוסדרת לתחום אגירת האנרגיה, והאנשים לומדים את התחומים תוך כדי עבודה. זאת בניגוד למשל למצב בארה"ב, שבו יש מספר רב של national labs העוסקות בתחום ומשלבות מחקר אקדמי בסיסי עם הבנה של מערכות פרקטיות.

הכשרה בתוך החברה על הטכנולוגיה שאנחנו משתמשים, למה בחרנו את הטכנולוגיה הזו, אופייני טעינה ופריקה, מגבלות וכו'

רוב החברות מעניקות הכשרה פנימית או אנו כי אין צורך בהכשרה חיצונית.

7. האם קיימים צורכי הכשרת כוח אדם בתחום אגירת אנרגיה שאין להם כיום מענה?

- בנושא הנדסת מכונות דרושה הכשרה במכונות סובבות במהירות גבוהה (עשרות אלפי סל"ד)
- בנושאי אלקטרוניקה נדרשת הכשרה בהמרת אנרגיה
- תכן מנועים חשמליים, BRUSHLESS DC AND RELUCTANCE, תכן בקרי סרון, תארים מתקדמים שני ושלישי בהנדסת מכונות הנדסת חשמל
- מיקוד בתחומי אנרגיה, בקרה, זרימה מעבר חום ומסה
- הכשרה בתחום הסוללות – אלקטרוכימיה; השוואה של יתרונות וחסרונות בין טכנולוגיות קיימות (מהנדסי החשמל);
- חסרה פרקטיקה של יצור סוללות מודרניות, והתעמקות בנושאים תיאורטיים
- חסר מאוד המומחיות בתחומי ייצור של תאי סוללות
- יצור סוללות Li-ion.
- קיים מחסור בתחום אנרגיות מתחדשות ושילוב ויישום אגירת אנרגיה במערכות קיימות
- התאמת טכנולוגיה לאפליקציה
- חישוב עלויות אגירה תוך הכללת OPEX CAPEX
- מבנה מערכת - מכולות או בניה באתר
- סוגי איבוד האנרגיה במערכת
- השפעת טמפי' עבודה למיקום גיאוגרפי

8. האם צפוי שינוי בהכשרות שיידרשו לכוח האדם בתחום זה בעתיד הקרוב מבחינת כמות ו/או סוג הכשרה והאם נדרשת היערכות/ התאמת ההכשרות לקראת שינויים אלו?

- באיחוד האירופי יש 250,000 אנשים העובדים באנרגיה מתחדשת ובאגירת אנרגיה. זה שוק גדול באיחוד האירופי. זה שוק קטן כאן בישראל. בישראל אין מודעות והשקעה ממשלתית לתחום זה. לתחום אנרגיה מימן היו למעלה מ-12 חדי קרן, הוא גדל ב-20% זו תעשייה גדולה.
- זה תחום מתפתח ויש צורך בהכשרה מתמדת
- חסר מומחים עם תארים מתקדמים בתחום
- יהיה צורך באנרגיות מתחדשות ושילוב ויישום אגירת אנרגיה במערכות קיימות
- נראה שתחום סוללות solid-state עומד להיות מאד "חם" בשנים הקרובות, אחרי ההתלהבות הראשונית שפתרון קיים מעבר לפינה, כנראה שידרשו עוד הרבה שנות מחקר ופיתוח עד שנוכל לראות סוללות כאלה ביצור המוני.
- הבעיה בישראל שאין בארץ מפעלים בתחום שבהם עובדים יכולים לצבור ידע וניסיון. השוק בישראל קטן מדי. יש את חברת תדיראן שמתמקדת בנושא הסוללות. הרבה אנשים שרוצים לעסוק בתחום עוזבים לאירופה ולארה"ב לעבוד שם.
- ככול שהתחום יגדל ידרשו מהנדסים וטכנאים לתהליכי ייצור, בחינה, הנדסה, והטמעה
- שניים ענו לא ידוע

11. הים כמשאב לאומי

11.1 רקע

תחום הים כמשאב לאומי, ע"פ דו"ח המולמו"פ¹⁶⁵, כולל את התחומים הבאים: פינוי תשתיות לים – איים מלאכותיים, חקלאות ימית וכלכלה כחולה.

כדי להפוך תחום זה למשמעותי לישראל יש צורך בגיבוש מדיניות ואסטרטגיה, גיבוש מדיניות חוץ במזרח הים התיכון ובים האדום, היערכות ומכונות לאירועי חירום אזרחיים בים, היערכות להשפעות של שינויי האקלים על המרחב הימי של ישראל, פיתוח וניצול משאבי אנרגיה בלב ים ושמירה על הסביבה, קידום והסדרה של חוק ומשפט ימי, פיתוח תשתית אנושית להתמודדות ישראל עם האתגרים במרחב הימי, תחום הספנות והנמלים בישראל, העתקת תשתיות מהיבשה אל הים, וביסוס מעמדה של מדינת ישראל כמדינת הזנק בתחום הימי.

כלכלה כחולה¹⁶⁶ היא מדיניות אסטרטגית ארוכת טווח למיצוי מושכל, מקיים ומוסדר של הפוטנציאל הכלכלי בים. הכוונה לפעולות ופיתוח המעודדים או מייצרים מקומות עבודה חדשים בקשר ישיר למרחב הימי. למעשה מדובר על 'הים כמנוע צמיחה כלכלי וחברתי' תוך התחשבות מקסימלית במאפיינים הייחודיים של הים ובכלל זה מאפייניו הסביבתיים. הן הפיזיקליים והן הביולוגיים. וכן המשטר משפטי הייחודי החל על המרחב הימי.

הכלכלה הכחולה נוגעת בכל היבט של החיים כגון מסחר, אנרגיה, מזון ותיירות והוא אחד מהנושאים הנמצאים בעשור האחרון במרכז תשומת הלב הכלכלית העולמית.

להלן נושאי על לפעילויות הכלכלה הכחולה והפעילות הימית שהוגדרו במסגרת התוכנית האירופאית MfU (Mediterranean for United) שישראל חברה בה:

- תעבורה ימית, ספנות ונמלים
- מזון, הזנה, בריאות ושירותי מערכת
- אנרגיה וחומרי גלם מהים וקרקעית הים
- פנאי, קיט, נופש ומגורים
- הגנה על חופים ומצוקים
- ניטור, שימור ובקרה

פירוט המדיניות הממשלתית בפיתוח ותוכניות תמיכה בעסקים:

- הכרזה על תוכנית לפיתוח ביוטכנולוגיה וחקלאות ימית באילת¹⁶⁷.
- הקמת מרכז לאומי לטכנולוגיות ימיות וכלכלה כחולה בחיפה בהשקעה ראשונית של 10 מיליון שקלים. המרכז שיהיה מוביל חדשנות עולמית ויתמקד בהיבטים של יזמות וחדשנות טכנולוגית, הפונה למרחב הימי¹⁶⁸.
- תוכניות מחקר ופיתוח משותפים ליזמים וחברות ממשלתיות ותשתיות לאומיות.

¹⁶⁵ הוועדה לגיבוש נושאים לתחומי עדיפות לאומית למו"פ. החלטה על תחומי עדיפות לאומית למו"פ אזרחי בישראל. המולמו"פ אוגוסט 2022

¹⁶⁶ אודי גונן. סקירת הכלכלה הכחולה בישראל – מצב קיים והזדמנויות. המרכז לחקר מדיניות ואסטרטגיה ימית. יולי 2022
<https://hms.haifa.ac.il/index.php/he/component/content/article/24-2018-10-29-11-11-06/287-overview-of-the-blue-economy-in-israel-existing-situation-and-opportunities?Itemid=108>

¹⁶⁷ המרכז הלאומי לחקלאות ימית
¹⁶⁸ מרכז לאומי לחדשנות ימית וכלכלה כחולה. החזון להקמת מרכז לאומי לחדשנות וכלכלה כחולה בחיפה הוא מרכז שיהיה מוביל חדשנות עולמית ויתמקד בהיבטים של יזמות וחדשנות טכנולוגית הפונה למרחב הימי, תוך שילוב בתהליכי ההתחדשות והפיתוח העירוני בחזית הים של חיפה. המרכז יאגד שותפויות לצרכי פיתוח של גופי המחקר, התעשייה והתעשיות הביטחוניות, הנמל, גופי סביבה וקהילה, לפיתוח וקידום חדשנות ויהווה חממה ליזמות צעירה. המרכז גם יסייע לסטרטאפים וליזמים בשלביהם הראשונים, המתמקדים בטכנולוגיות ימיות (ocean tech), להתחבר למשאבים, שירותים, תשתיות והתמיכה הנדרשים להצלחתם.

מחקר ואקדמיה

בישראל מתקיים מחקר אקדמי ענף בתחום הימי:

- באוניברסיטת חיפה פועל בית הספר למדעי הים המאגד שלושה חוגים: ביולוגיה ימית, מדעים גאוימיים, טכנולוגיה ימית, וכן את המרכז לחקר מדיניות ואסטרטגיה ימית. נוסף על כך קיים באוניברסיטה החוג לציוויליזציות ימיות העוסק בהיבטים היסטוריים של הקשר שבין האנושות והים.
- המרכז הישראלי לחקר הים התיכון (MERICI) - מוביל קונסורציום של שבע אוניברסיטאות, שתי מכללות ושני מכוני מחקר ממשלתיים בתחום חקר הים. המרכז מהווה מוקד ארצי לפעילות מחקרית רבת-תחומית בשילוב האקדמיה, התעשייה המקומית והקהילה. המרכז משמש בסיס ידע ומוקד בינלאומי בנושא פיתוח ומחקר הים.
- בטכניון פעילות רבה הקשורה לנושא הים ובכלל זה המכון הישראלי לחקר הנדסה ימית (CAMERI), אדריכלות ימית ואוניות, תחבורה, מזון ועוד.
- חקר ימים ואגמים לישראל (חיא"ל): חברה ממשלתית שהוקמה על מנת ליצור ידע לצורך ניצול מושכל ושימור של משאבי הים, החופים והמים של ישראל. חיא"ל עוסקת במחקר ופיתוח.

תחום הספנות, הניווט, התחבורה הימית וה'אונייה החכמה'. בישראל ידע רב בתחום הרכבים האוטונומיים ולפיכך המשך ישיר של תחום זה הוא מגמת ההובלה הטכנולוגית של ישראל בתחומי הכלים האוטונומיים ביבשה ובאוויר ופיתוחים טכנולוגיים בתחום הימי כגון כלי שיט אוטונומיים, הגנת סייבר ו- Big Data לתחום הימי. התחום כולל גם שורה של טכנולוגיות כגון: חיישנים, לווייניים, מערכות אוטונומיות וביג דאטה.

הנדסה. פוטנציאל בהקמת תשתיות בים והעברת תשתיות קיימות לים על גבי מתקנים צפים כגון לוחות סולריים צפים, מתקן התפלה, תחנת כוח גזית וכדומה. מתקנים אלו דורשים יכולות הנדסיות גבוהות.

חקלאות וביוטכנולוגיה ימית. ענף החקלאות הימית הוא הענף בעל קצב הגידול המהיר ביותר מבין ענפי ייצור המזון בכלכלה הגלובלית. בתחום חקלאות המים חל גידול עצום וכיום הצפי הוא להיקף כולל של כ-245 מיליארד דולר. הערכה לכ"א של 200 משרות ישירות, ולכאלף משרות במעגל תעסוקה משני ולעלייה בהכנסות של כ-300 מיליון ₪ בשנה, עבור כל 10,000 טונה תוצר/שנה. נראה כי יש הזדמנות בשלושה אשכולות עיקריים: 1. פיתוח מערכת גידול משולבות (Integrated Multi-Trophic Aquaculture) ביבשה ובים הפתוח. 2. פיתוחים בתחום הביוטכנולוגיה כגון מיגור מחלות ופיתוח זנים כולל זן מקומי (סגירת מעגלי רבייה). 3. פיתוח מערכות גידול מתקדמות.

- הפיתוח בתחום החקלאות הימית יכול להתמקד בגידול אצות. הפוטנציאל הכלכלי של ענף האצות הישראלי מבוסס על מחקר, פיתוח וידע, ולא דווקא על בסיס יתרונות בשלבי הגידול והעיבוד. לפיכך הפוטנציאל לטווח הרחוק הוא בפיתוח זנים מיוחדים של אצות בעלי תכולה גבוהה של חומרים פעילים או פיתוח מוצרים ייחודיים היאפשרו גביית מחירים גבוהים המצדיקים את עלויות הפיתוח.

▪ תחום נוסף הוא טיפול בתמלחות תוצרי התפלת מי ים – התמקדות בפתרונות היקפיים לתחום ההתפלה בעיקר בנושא יעילות אנרגטית וטיפול בתמלחות וכן מיצוי מינרלים ויסודות כימיים מתמלחת זו.

ספנות ונמלים. כולל שירות לתעשיית הקרוזים (פיתוח אטרקציות ושירותים לספינות בתחום המזון והאספקה) ושירותי נמל ושירותים מסחריים הכוללים פתרונות לוגיסטיים מתקדמים (תעשייה 4.0), שינוע אוטונומי בנמל ופיתוחים בתחום "נמל ירוק" (צמצום פליטות, שינוע ללא זיהום, טיפול בחומרים מסוכנים ועוד).

הרחבת שיתוף פעולה אזורי כגון אלה שצמחו בתחום הגז הטבעי לתחומים כמו אזורי ניסוי בינלאומיים לכלי שייט אוטונומיים, ניטור משותף, בטיחות המזון ועוד.

אחת החולשות שמוזכרות בתחום זה הוא מחסור בכוח אדם ימי בתחומי הספנות.

11.2 חברות בתחום הים כמשאב לאומי

חברות שעוסקות נטו בים הן בודדות, אולי 20. שאר החברות שהן רבות, הן חברות שיש להן פתרונות גנריים שעשויים להתאים גם לסביבה ימית, כגון מצלמות, שעושים להן וריאציה מסוימת לתנאים של הים ונהפכות למצלמות ימיות. אבל הטכנולוגיה, הפיזיקה הבסיסית של הסנסור לא השתנתה.

דוגמות לחברות: [Eco Wave Power](#) - יצירת אנרגיה מגלי ים, הפקת אנרגיה מעומק הים, [ECONcrete](#) - פיתחה בטון חדשני לבניה בסביבה ימית, המסייע למערכת האקולוגית הימית לגדול ולצמוח סביב מבנה הבטון, תוך חיזוקו. חברת [Orca AI](#) עוסקת בניווט אוטונומי של ספינות - מפתחת כלי ניווט ימיים מבוססי בינה מלאכותית עבור תעשיית הספנות, [NayamWings](#) - מפתחת מערכת הנעת רוח חדשה לכלי שייט ימיים המבוססת על מפרש כנף קשיח. חברת [BaroMar](#) - עוסקת באגירת אנרגיה לתקופות ארוכות בכמויות גדולות (בגודל של ג'יגה-ואט-שעה או יותר) באמצעות אוויר דחוס במתקנים תת-מימיים. [Agam Aquaculture](#) - פיתחה מערכות תת-מימיות בטכנולוגיה חדשה אשר משפרות את תהליך הלכידה, מיון הדגים והשקילה המבוצעים כיום מחוץ למים, הגורמים סטרס לדגים ויוצרים עומס.

11.3 תחומי תואר/ידע בסיסי רלוונטי בתחומי הים כמשאב לאומי

במסגרת שאלון לבחינת צרכי הכשרות LLL בחברות בתחום הים כמשאב לאומי¹⁶⁹ (סיכום ממצאי השאלון מופיע בנספח לחלק זה) עלו התחומים הבאים:

- הנדסת אנרגיה (בדגש ימית ומתחדשת)
- הנדסה ימית
- מדעי הנתונים
- מדעי הסביבה הימית (פיסיקה, כימיה, ביולוגיה, אקולוגיה)
- מקצועות הימאות (הכשרת קציני ים)

¹⁶⁹ רשימת העונים לשאלון LLL הים כמשאב לאומי: אדליסט דור, לשעבר מייסד, Rodmarine (החברה נסגרה), קורן סרגיו, מנכ"ל, BaroMar, אשר אמנון, מייסד וסמנכ"ל פיתוח, NayamWings, כרמלי סער, מנכ"ל ושותף, NayamWings, לירז אלי, מייסד ומנכ"ל, Agam Aquaculture, רצין מיכאל, Aqua Green, DIR, חנן כרמלי, theDOCK, מנהל שותף

- תרמו-דינמיקה וזרימה
- שיטות בנייה ימיות
- שיטות להקמת מבנים תת-מימיים
- הנדסת אווירונאוטיקה
- הנדסת תכנה
- הנדסת מכונות
- הנדסת אוניות
- מהנדס אווירונאוטיקה
- אדריכל ימי
- תעשייה וניהול
- כלכלה ומנהל עסקים
- הנדסת חומרים (בים רוב החומרים אינרטים, יותר מידע בפלסטיק למינו, וחומרים לטיפול בקורוזיה)

את תחום מדעי הים ניתן ללמוד בפקולטות הבאות:

תואר ראשון

- [תואר ראשון \(BSc\) במדעי הים והסביבה הימית במרכז האקדמי רופין.](#)

תוכנית הלימודים הוקמה על בסיס הצפי הכלכלי והסביבתי שלפיו הפוטנציאל הכלכלי, הטכנולוגי והמדעי הטמון בים ימומש בקרוב ולפיכך יש להכין דור של חוקרים ומומחים במדעי הים.

מטרות התוכנית:

- להקנות לסטודנטים ידע אקדמי יישומי נרחב במדעי הים ובמדעי החיים.
- להכשיר בוגרים להשתלבות במחקר, בחקלאות ימית, בתעשייה ובתחומים משיקים אחרים.
- לפתח תשתית ידע ויכולות למידה לתארים מתקדמים במדעי החיים בכלל ובמדעי הים בפרט.

תכנית הלימודים:

לצד קורסי הבסיס- מתמטיקה, פיזיקה, כימיה, ביוכימיה, ביולוגיה מולקולרית, פיזיולוגיה, גנטיקה ובוטניקה ימית- התכנית כוללת קורסים ייעודיים במדעי הים ובהם אוקיינוגרפיה פיזיקלית, כימית וביולוגית, ביולוגיה ואקולוגיה של אורגניזמים ימיים, מיקרוביולוגיה ימית, אקולוגיה של נחלי החוף בישראל, ושימור הים והחוף.

נוסף על כך, התכנית מציעה מגוון קורסי בחירה כגון יונים ימיים (marine ions), גיאומורפולוגיה, ארכיאולוגיה ימית, אנדוקרינולוגיה, אימונולוגיה ועוד. המבקשים להמשיך ללימודי רפואה או וטרינריה יכולים לבחור בקורסים שיאפשרו להם לעשות זאת.

תכנית הלימודים לתואר ראשון כוללת גם לימוד תיאורטי ומעשי של מקצועות הימאות. קורסי הימאות התיאורטית הם חובה, ואילו קורסי הימאות המעשית מיועדים לסטודנטים המעוניינים לקבל רישיון להפעלת סירה מהירה או רישיון להפעלת יאכטה. המעוניינים יכולים להמשיך את לימודי הימאות המעשית ולקבל תעודת משיט* (סקיפר). על פי דרישות משרד התחבורה לקבלת תעודת משיט, והם נדרשים להשתתף בהפלגות לימודיות. לימודי הימאות כוללים שיט לחופי יוון וקפריסין.

בחלק מהקורסים ומעבדות המחקר נדרש רישיון צלילה ותעודת צולל שני כוכבים ויותר. בקורסים אחרים נדרשת גם תעודת צולל מדעי.

▪ **ביולוגיה וביוטכנולוגיה ימית באוניברסיטת בן-גוריון בנגב**

תוכנית הלימודים היא בעלת דגש יישומי הכולל שלושה אשכולות: שיקום סביבות ימיות, חקלאות מים, ניהול מיזמים בתחום.

הלימודים מתקיימים בשנה הראשונה והשנייה במחלקה למדעי החיים באוניברסיטת בן-גוריון בבאר שבע. לימודי השנה השלישית מתקיימים בקמפוס אילת. התוכנית היא בשיתוף פעולה עם המרכז הלאומי לחקלאות ימית באילת והמכון הבין-אוניברסיטאי למדעי הים באילת. בתוכנית הלימודים מושם דגש על הקניית ידע בתחומים האקדמיים הקשורים במדעי הים והחקלאות ימית, מדעי החיים וכן בביוטכנולוגיה ואקולוגיה ימית. התואר המוענק הוא B.Sc. במדעי החיים מטעם אוניברסיטת בן-גוריון בנגב.

בוגרי התוכנית יכולים להמשיך לתארים מתקדמים בכל המוסדות להשכלה גבוהה בארץ ובעולם, בכל תחומי הביולוגיה, רפואה, וטרינריה וכמובן ביולוגיה וביוטכנולוגיה ימית, וכן במסלול של תואר שני ושלישי במגמה לביולוגיה וביוטכנולוגיה ימית.

הקורסים הנלמדים בתוכנית כוללים קורסי יסוד וכן מגוון רחב של נושאים עכשוויים, כדוגמת קורסים באבולוציה ימית, אקולוגיה ימית, פיזיולוגיה של אורגניזמים ימיים, ביוטכנולוגיה, היבטים מולקולאריים של גנטיקה, רבייה ואימונוולוגיה.

▪ **מגמת הנדסה ימית בפקולטה להנדסת מכונות, טכניון**

המגמה להנדסה ימית עוסקת בתכנון ואנליזה של מבנים ומערכות ימיות נייחות וניידות.

במגמה נלמדים מקצועות יסוד (חובה) והתמחות (בחירה) בהנדסה ימית המשלימים את מקצועות היסוד בהנדסת מכונות. מקצועות היסוד של המגמה כוללים הידרוסטטיקה/הידרודינמיקה של אניות ואנליזת מבנים המיושמים בפרויקט תכן שנתי. לאור אופיה האינטרדיסציפלינרי של המגמה, כוללים מקצועות ההתמחות מגוון רחב של נושאים דוגמת תורת הרטט ודינמיקת מבנים ימיים, מנועי שריפה/טורבו מכונות, תורת הקליפות וחומרים מרוכבים.

תארים מתקדמים

▪ **תואר שני (MA) בניהול משאבי ים במרכז האקדמי רופין**

על התוכנית

בשנים האחרונות, תעשיות שונות מתפשטות אל מרחבי הים הפתוח: הפקת גז טבעי ונפט במים עמוקים, כריית חול במדף היבשת, כריית מתכות ומינרלים יקרים אחרים באוקיינוסים העמוקים, הפקת אנרגיה מתחדשת מרוח וגלים ופיתוח טכנולוגיות מתקדמות של חקלאות ימית. התרחבות העיסוק בים והגדלת היקף הפעילות האנושית בו הובילו מדינות רבות ליזום

תהליכי תכנון חדשניים של המרחב הימי שלהן. במקביל החלו לפעול תכניות אקדמיות המכשירות את בוגריהן לנהל את משאבי הים והחוף ולהתמודד באופן יעיל עם האתגר המורכב של ניצול מושכל של משאבי הים לצד שמירה על הסביבה הימית.

מטרות התכנית

להעניק לבוגריה תשתית ידע במגוון רחב של נושאים מדעיים, תכנוניים, ניהוליים וכלכליים הקשורים למשאבי הים והחוף, ובפרט במרחב הימי של ישראל.

להסמיך אנשי ניהול שמבינים את המרחב הימי של ישראל, מכירים את חופיו ואת סביבותיו ומצוידים ביכולות תכנון וקבלת החלטות בכל הנוגע לשימוש מושכל במשאבי הים והחוף של המדינה.

▪ מוסמך (M.Sc) במדעי הים במסלול לימודים הכולל תזה במרכז האקדמי רופין

על התחום

האוקיינוסים מהווים כשני שלישים משטח כדור הארץ, וההערכה היא כי רוב המינים החיים בהם טרם התגלו וטרם נחקרו. לאוקיינוסים תפקיד מכריע במערכת האקלים, בתהליכים ביו-גאוכימיים ובמחזור החומר. לימודי המוסמך המחקרי במדעי הים מתמקדים בהבנת התהליכים הביולוגיים, הפיזיקליים והאקולוגיים באוקיינוסים ובחקר ההשפעות האנתרופוגניות על האורגניזמים, האוכלוסיות, החברות והמערכות הביולוגיות בימים ובאוקיינוסים בכלל ובים התיכון בפרט. כמו כן, מתקיימים מחקרים ביו-רפואיים תוך שימוש בבעלי חיים ימיים כחיות מודל.

בשל מורכבותם וחשיבותם הרבה של האוקיינוסים, המחקר בנושא דורש מבט רב-תחומי. לימודי המוסמך מספקים את הכלים הנחוצים למחקרים מורכבים כגון יחסי הגומלין בין אורגניזמים לסביבתם הביוטית והא-ביוטית בסביבה הימית, דינמיקה של אוכלוסיות וחברות אקולוגיות במרחב ובזמן, מגוון המינים והגורמים המשפיעים על מגוון זה, וההשלכות היישומיות של כלל הגורמים הללו על הממשק שבין המערכות הימיות ושמירת טבע בסביבה הימית.

תוכנית הלימודים

תוכנית הלימודים מקנה לסטודנטים רקע מדעי רחב במדעי הים מעבר למקצוע המסוים הקשור לתחום התמחותם. התכנית כוללת קורסים באוקיינוגרפיה ביולוגית, אקולוגיה וביולוגיה ימית, אוקיינוגרפיה כימית, אוקיינוגרפיה פיזיקלית, גאולוגיה ימית, חקלאות ימית, שימור הסביבה הימית וגנומיקה ואקולוגיה של אוכלוסיות ימיות. סגל ההוראה מתבסס על חוקרים מהפקולטה למדעי הים ועל מרצים מהאוניברסיטאות.

▪ ביולוגיה וביוטכנולוגיה ימית - תואר שני (M.Sc) במדעי החיים, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

לצד לימודים עיוניים בתחומי הפיזיולוגיה, הגנטיקה, ההתנהגות המרחבית והרבייה של בעלי החיים הימיים למיניהם, נחשפים משתתפי התוכנית לחזית הישגי המדע כפי שבאים לידי ביטוי לא רק בספרות המקצועית אלא גם במעבדות של מכוני המחקר הימיים באילת.

הלימודים מתבססים על השתתפות בחלק מקורסי החובה בבאר-שבע ועל השתתפות בקורסי בחירה בקמפוס באילת, במכון הבין-אוניברסיטאי למדעי הים ובביצוע עבודת המחקר.

המחקרים מתבצעים במגוון תחומים מביוטכנולוגיה וחקלאות ימית עד לאקולוגיה, התנהגות ושימור הסביבה. המחקרים מתנהלים בקמפוס אוניברסיטת בן-גוריון באילת, המרכז הלאומי

לחקלאות ימית, המכון הבין-אוניברסיטאי למדעי הים, מעבדת ריף הדולפינים, מכוני המו"פ בערבה ועוד.

▪ בית הספר למדעי הים על שם ליאון צ'רני, אוניברסיטת חיפה

בית הספר הוא גוף מדעי-יישומי, המלמד סטודנטים לתארים מתקדמים תוך דגש על מחקר והוראה מעשיים בים, שילוב סטנדרטים מקצועיים גבוהים עם גישה רב-תחומית.

בית הספר מתמקד בפעילות מחקרית ואקדמית במזרח הים התיכון, מרצועת החוף ועד למעמקי האגן ומתרכז באזור הכלכלי הישראלי בים התיכון, אשר הולך והופך לאזור המפתח לעתידה של מדינת ישראל (למשל פיתוח מאגרי גז, התפלת מים, איים מלאכותיים וחקלאות ימית), ופועל בשיתוף מחקרי ואקדמי הדוק עם המכון לחקר ימים ואגמים לישראל (חיא"ל). שיתוף זה מרחיב את היכולות המעשיות של ביה"ס הנמצאות בבסיס פעולתו, תוך איגום משאבי מחקר לאומיים למחקר והוראה תחרותיים ברמה בינלאומית בתחום ייחודי זה. כמו כן, מקיים ביה"ס שיתופי פעולה עם מכונים ומוסדות אקדמיים לאומיים ובינלאומיים ידועים במדעי הים. בנוסף, בית הספר עובד בשיתוף מחקרי עם גופי מחקר ימיים הפועלים באוניברסיטת חיפה: מרכז חיפה למחקרי מדיניות ואסטרטגיה ימית, מרכז חיפה לחקר ההיסטוריה של הים התיכון, המכון ללימודי ים על שם רקאנטי.

בבית הספר פועלים שלושה חוגי לימוד: החוג למדעים גאו-ימיים ע"ש שטראוס, החוג לביולוגיה ימית והחוג לטכנולוגיות ימיות ע"ש האטר. כמו כן ביה"ס למדעי הים הינו שותף בתכנית מוסמך לביטחון לאומי ואסטרטגיה ימית ופעיל בהוראה בתוכנית תואר ראשון לחובלים של ביה"ס למדעי המדינה. בחוגים אלה גם תכנית לתואר שלישי (PhD).

החוג למדעים גאו-ימיים ע"ש שטראוס - החוג למדעים גאו-ימיים הוא היחיד בישראל המתמקד בגיאולוגיה ובגיאופיסיקה של קרקעית הים ותת הקרקע הימי. הלימודים והמחקר משלבים ידע עיוני עם רכישת ניסיון מעשי ויישומי של איסוף נתונים ועיבודם. בין נושאי הלימוד: מערכות גז ונפט, שינויי מפלס גלובליים בעבר הגיאולוגי, יציבות קרקעית הים והחופים, זיהום ימי וחופי והתפלת מי ים.

החוג לביולוגיה ימית והחוג לטכנולוגיות ימיות ע"ש האטר - האוקיאנוסים והימים מכסים כ-70% מפני כדור הארץ ושוקקים חיים: אצות מיקרוסקופיות מהוות בסיס למערכת אקולוגית מורכבת - מאצות, מפלנקטון ואלמוגים ועד לווייתנים. בשנים האחרונות עולה הצורך בהכשרת דור חדש של מדענים שיוכלו להנחות את מקבלי החלטות ברמות לאומיות ובין-לאומיות לשימוש במשאבי הים מחד גיסא ולשימורם מאידך. תלמידי החוג לביולוגיה ימית משלבים מחקר מעמיק בביולוגיה ימית ברובד המולקולארי, הביוכימי, הפיזיולוגי והאקולוגי עם התמחות רב תחומית החובקת את מדעי הים, מתוך מטרה להיות מנהיגי המחקר העתידי בתחום הימי.

החוג לטכנולוגיות ימיות ע"ש האטר - עוסק במחקר טכנולוגי לפיתוח ידע, שיטות חדשות וציוד מתקדם למחקר יישומי של הים. הצוות האקדמי של המחלקה משלב מומחיות בהנדסה ימית עם הבנה ומחקר בתחומי מדעי הטבע האוקיאנוגרפיים. מהנדסים וטכנאים מקצועיים תומכים בהפעלה ותחזוקה של הפלטפורמות והטכנולוגיות הימיות של המחלקה, ומפתחים חיישנים המסייעים במחקר. המחלקה מציעה מגוון קורסים לתארים מתקדמים במספר תחומים הנדסיים והיא המרכז האקדמי היחיד בישראל המציע תואר שני במדע (M.Sc) בטכנולוגיות ימיות. המחלקה פרסמה עבודות מדעיות בעיבוד אותות ותמונות מתקדמות, כלי רכב

אוטונומיים מתחת למים, למידת מכונות, טלקומוניקציה, ניווט, הנדסת ימית, ocean physics, הנעה מתחת למים ותמרון.

▪ התוכנית הבין-יחידתית להנדסה ימית, טכניון

הטכניון היא האוניברסיטה היחידה בישראל המציעה, מאז שנת 2020, תוכנית ייעודית בהנדסה ימית (תארי M.Sc, M.Eng ודוקטורט).

תוכנית בין-יחידתית בהשתתפות היחידות הבאות: הנדסת אווירונאוטיקה וחלל, ארכיטקטורה ובינוי ערים, הנדסה אזרחית וסביבתית, מדעי המחשב, הנדסת חשמל, הנדסת מכונות.

התוכנית הבין-יחידתית להנדסה ימית מיועדת להכשיר סטודנטים בתחום ההנדסה של כל מוצר שמיועד לתפקד בסביבה ימית וגם להעניק השכלה בין תחומית בכל הקשור לניהול, לחקר ולשמירה של הסביבה הימית. זה כולל, בין השאר, את ההנדסה של כלי שיט על ותת ימיים, מבנים, התקנים, מערכות ומכשירים ימיים.

מטרת התוכנית לקדם את הידע במדעי ההנדסה (כגון: הנדסה אזרחי, מכונות, חשמל, מחשבים, אדריכלות) בהיבטים של הנדסה ימית.

דוגמאות לנושאי מחקר מתאימים לתוכנית:

- רעיונות חדשים (למשל לכלי שיט, מבנים) לניצול האוקיאנוס והים
- תכנון המרחב הימי (ארכיטקטורה ובינוי ערים)
- ניהול מתכלל של אזורי חוף (ארכיטקטורה ובינוי ערים)
- הבטי תכן של כללי שיט, מבנים, התקנים ומכשירים ימיים
- שיטות חישה ועיבוד נתונים ישימים להנדסה ימית
- הידרודינאמיקה של הסביבה הימית וגופים בים
- מכניקה (מוצקים, מבנים, דינאמיקה) שימושית להנדסה ימית
- שיטות מספריות ומודלים חישוביים להנדסה ימית
- שיטות אנליטיות ומתמטיקה שימושית להנדסה ימית

▪ המכון למדעי החיים ע"ש אלכסנדר סילברמן באוניברסיטת ירושלים

במחלקת אקולוגיה, אבולוציה והתנהגות, המחקר מתמקד במגוון תחומים כגון מיקרו- ומקרו-אבולוציה, ביולוגיה התפתחותית אבולוציונית (Evo-Devo), מנגנונים ואבולוציה של התנהגות בעלי חיים, סוציוביולוגיה, אקולוגיה של אוכלוסיות וחברות, אקולוגיה מרחבית ואקולוגיה של תנועה, מערכות אקולוגיות, ביולוגיה ימית, שימור טבע, מגוון ביולוגי, שינויי סביבה גלובליים וביוגיאוגרפיה. למחלקה תפקיד מוביל במחקר ובהוראה המבוצעים במעבדה לביולוגיה ימית ע"ש היינץ שטייניץ באילת.

נושאי המחקר:

- אוקיאנוגרפיה ביולוגית ואקולוגיה של שוניית האלמוגים - אקולוגיה של שוניית האלמוגים. יחסי טורף-נטרף והשפעתם על מבנה החברה ותפקודה. השפעת גורמים פיסיקליים על תהליכים ביולוגיים בים. אקולוגיה התנהגותית של פלנקטון ודגים. יישום שיטות אקוסטיות ואופטיות בחקר הים.
- אקוסטיות ימיות בעולם משתנה

- אוקינוגרפיה ביולוגית - המעבדה מתמקדת בחקר דיפרנציאציה אקולוגית ותאית במהלך שלבים שונים של מחזור החיים, הבנת התפקיד של כל שלב ויחסי הגומלין עם אורגניזמים ימיים אחרים, וכן חיפוש אחר גורמים הקשורים לוויסות המעבר בין השלבים השונים של מחזור החיים.

- החוג לאוקיאוגרפיה באוניברסיטה העברית בירושלים

החוג לאוקיאוגרפיה באוניברסיטה העברית הוא החוג הוותיק והמצטיין בארץ בתחום, היחיד הכולל חברי סגל מכל תחומי האוקיאוגרפיה העיקריים (פיסיקלית, כימית, גיאולוגית, ביולוגית, גיאופיסיקה ימית). החוג מציע לסטודנטים מצטיינים בפיזיקה, בכימיה, במדעי החיים, במדעי כדור-הארץ ובהנדסה הזדמנויות מחקר לתארים מתקדמים, תוך שימוש בשיטות תיאורטיות, נסיוניות ועבודת שדה. הזדמנויות המחקר כוללות מחקר תחומי ורב-תחומי, בארץ ובעולם. בוגרי החוג מהווים את שדרת המחקר, הניהול והפיתוח בתחום מדעי הים בישראל.

- חקר ימים ואגמים לישראל (חיא"ל)

חקר ימים ואגמים לישראל (חיא"ל) היא חברת מחקר ממשלתית לתועלת הציבור (חל"צ), ללא כוונות רווח (מלכ"ר), זרוע ביצוע של הממשלה, שהוקמה ב-1967 על מנת ליצור ידע לצורך ניצול מושכל ושימור של משאבי הים, החופים והמים של ישראל. לשם כך חיא"ל עוסקת במחקר ופיתוח בתחומי מדעי הים (אוקיאוגרפיה), מדעי האגמים (לימנולוגיה) וחקלאות וביוטכנולוגיה ימית.

בחיא"ל 3 מכוני מחקר: המעבדה לחקר הכנרת, המכון הלאומי לאוקיאוגרפיה והמרכז הלאומי לחקלאות ימית.

- המעבדה לחקר הכנרת - ממוקמת ב"אתר ספיר" (טבחה) ועוסקת בניטור שוטף של המערכת האקולוגית של הכנרת ובמחקר של התהליכים הפועלים באגם ומשפיעים עליו.

- המכון הלאומי לאוקיאוגרפיה - ממוקם בחיפה (תל שקמונה) על שפת הים התיכון, עוסק במחקר ופיתוח במדעי הים ומספק מידע וייעוץ מקצועי לממשלה ולמגזר הציבורי בהקשר לניצול בר-קיימא ושימור של משאבי הים והחופים של ישראל. המכון כולל ארבע קבוצות מחקר: אוקיאוגרפיה פיזיקלית, כימיה ימית, גיאולוגיה ימית ותהליכים חופיים, וביולוגיה ימית.

המחקרים האוקיאוגרפיים במכון מתמקדים במחקר, בניטור ובאיסוף נתונים סביבתיים בים התיכון, במפרץ אילת ובים המלח, וכלימוד התהליכים הפועלים בשטחי ים אלה ומשפיעים עליהם. נושאי המחקר כוללים בין היתר: תהליכי זרימה וערבוב; מודלים לתיאור וחיזוי מצב הים; מחזורי חומרים; הסעת חולות ובלייט חופים; מבנה קרקעית הים; פיזיולוגיה, אימונולוגיה ואקולוגיה של יצורים ימיים והדינמיקה של אוכלוסיותיהם; המגוון הביולוגי במימי החופים ובמעמקי הים; השפעות של פעילות אנושית על סביבת הים והחוף. חלק ניכר מהמחקרים במכון עוסק בנושאים שיש בהם עניין אזורי וגלובלי.

המכון משתף פעולה עם אוניברסיטאות ומכוני מחקר רבים ברחבי העולם ומשתתף ומייצג את ישראל בתוכניות מחקר וניטור רב-לאומיות, כגון תכנית הניטור במסגרת אמנת ברצלונה להגנה על הים התיכון, מערכות הניטור והחיזוי הימי באגן הים התיכון ורשתות בינלאומיות לאיסוף והפצה של נתונים אוקיאוגרפיים.

הצוות המקצועי במכון מונה כ-80 חוקרים, מהנדסים, עוזרי מחקר וטכנאים בעלי התמחות בתחומים השונים של מדעי הים. בנוסף פועלים במסגרת המכון סטודנטים ממוסדות להשכלה גבוהה בישראל ובחו"ל, המבצעים עבודות מחקר לתארים מתקדמים בהנחיה של חוקרי המכון.

המכון מספק שירותים מקצועיים מגוונים הכוללים: מיפוי ימי, סקרים ימיים ובדיקות מעבדה, ניטור סביבתי, עריכת תסקירי השפעה על הסביבה וייעוץ מקצועי.

▪ **המרכז הלאומי לחקלאות ימית (מלח"י)** - ממוקם בחוף הצפוני של אילת ועוסק בפיתוח טכנולוגיות לגידול של דגי ים ויצורים ימיים אחרים בעלי ערך כלכלי. מחקרי מלח"י יוצרים תשתית לפיתוח של חקלאות ימית בישראל כענף חקלאי חדשני המנצל מי-ים ומים מליחים ולהקמתן של תעשיות ביוטכנולוגיות נלוות.

מלח"י כולל כ-40 חוקרים, עוזרי מחקר וטכנאים בעלי התמחות במערך תחומי מחקר הכוללים: בקרת רבייה של דגים; גידול דגיגים; השבחה גנטית של דגים; פיתוח מזונות לדגים ודגיגים; זיהוי, מניעה וריפוי של מחלות דגים; פיתוח מערכות לגידול אינטנסיבי של דגים; ופיתוח מערכות לגידול משולב של דגים, רכיכות ואצות.

מאמץ המחקר המרכזי במלח"י מתמקד בתהליך מורכב של "ביות" יצורים ימיים לצורך גידולם כמוצרים חקלאיים; בפיתוח ביוטכנולוגיות ימיות ובפיתוח של טכנולוגיה ידידותית לסביבה לגידול של דגים בכריכות של מי-ים ביבשה.

במסגרת מלח"י פועלים סטודנטים ממוסדות להשכלה גבוהה בישראל ובחו"ל המבצעים עבודות מחקר לתארים מתקדמים בהנחיה של חוקרי המרכז. מלח"י משתף פעולה עם אוניברסיטאות, מכוני מחקר וחברות מסחריות בענפי החקלאות והביוטכנולוגיה הימית ברחבי העולם ועוסק גם בהדרכה ובייעוץ מקצועי למדינות מתפתחות.

▪ **CAMERI - המכון הישראלי לחקר הנדסה ימית** (Coastal and Marine Engineering Research Institute)

נוסד על ידי הטכניון וחברת נמלי ישראל והפך למכון המחקר המוביל בישראל למודלים ומחקר אוקיינוגרפי פיזיקלי. המכון מוביל את המחקר ההנדסי הימי והחופי בישראל ומהווה גוף בעל מומחיות לאומית בשלושה נושאים עיקריים השלובים זה בזה:

- פיתוח ותפעול יכולות איסוף נתונים פיזיקליים באזור החופי והימי.
- פיתוח ותפעול יכולות מידול פיזיקלי ונומרי בתחום ההנדסה הימית.
- תכנון, ביצוע ופיקוח על מחקר בסיסי בתחום ההנדסה הימית.

אחד השירותים שמבצע המכון הוא ייצור דגמי אוניות - בשנים האחרונות, פיתח המכון לחקר הנדסה ימית, במאמץ משותף עם הטכניון וספקים ייעודים, את היכולת לתכנן ולבנות דגמי כלי שיט. צוות האדריכלים הימיים והמהנדסים הימיים של CAMERI עושה שימוש בטכנולוגיות CNC והדפסות תלת-מימד במטרה ליצור מודלים של ספינות אמיתיות בגודל 1:120. פיתוח יכולת בניית הדגמים האלו מספק את הכלים לבצע את מכלול הדרישות לניסויים הפיזיקליים. שירות נוסף שמספק המכון הוא שיתוף פעולה עם חברות סטארט-אפ - ייעוץ ותכנון לבדיקות POC במתקני החברה.

קורסים

באוניברסיטת תל אביב, בפקולטה להנדסה קיים תואר כפול בהנדסה מכנית ובמדעי כדור הארץ עם הדגש בלימודי סביבה. במסגרת תואר זה מתקיימים קורסים הקשורים למדעי הים בשנה ד': הנדסה ימית, אוקיוגראפיה פיזיקלית וקורס בחירה במושגי יסוד בכלכלה סביבתית.

11.4 צרכי התעשייה להכשרות LLL בתחום הים כמשאב לאומי

במסגרת העבודה הנוכחית נשלח שאלון לבחינת צרכי הכשרות LLL בחברות בתחום הים כמשאב לאומי¹⁷⁰ (סיכום ממצאי השאלון מופיע בנספח לחלק זה). להלן פירוט הצרכים כפי שעלו מהשאלון:

- הכשרה בתחום של שליטה ובקרה – הנדסת מכונות, חשמל, תוכנה הנדסת אווירונאוטיקה ותעשייה וניהול.
 - בפקולטה לחקלאות ברחובות לא מושם מספיק דגש על נושא בעלי החיים (קיימת התמקדות בעיקר על ענף הבקר והרבה פחות על ענף המדגה). ממליץ שתהיה התמקדות רחבה יותר תחום המדגה.
 - ענף המדגה בישראל מאוד מדוכא ומצומצם בגלל היבוא מסין, כדאי לכוון לפיתוח ישראלי של זנים מיוחדים.
 - בים רוב החומרים אינרטים, יותר מידע בפלסטיק למינו, וחומרים לטיפול בקורוזיה
 - הים הוא העתיד אוכל, אנרגיה, מגורים, שדות תעופה
 - נושא "הים כמשאב לאומי" הוא כל כך רחב שאין הגיון בללמד אותו כנושא ליבה. אלא ברמת תואר שני ומחקר ובהיבטים מסוימים כיוון שלנושא פנים רבות - רשימה חלקית: תחבורת ספנות ונמלים, אקולוגיה, חקלאות ימית, נפט וגז, ביטחון, ועוד...
- בראיון עם אוזי גונן מהמרכז לחקר מדיניות ואסטרטגיה ימית עלו הצרכים הבאים להכשרת כ"א בתעשייה (נספח ב' בסוף פרק זה):
- נושא הים כולל בתוכו 3 מרכיבים עיקריים: התגלית של הים, האנרגיה והמסחר. וכל אחד מהנושאים האלה מהווה וורטיקל שהוא מאוד שונה מהאחר. יש בתוכו 3-4 קבוצות גדולות שצריך להסתכל על כל אחת מהן בנפרד.
1. אנרגיה – כולל את שדות הקידוחים. רוב הטכנולוגיה היא טכנולוגיה לא ישראלית והחברות הן חברות זרות שמעסיקות מעט ישראלים ובעיקר בתחומי לוגיסטיקה (ניהול ורכש) ולא בתחום הטכנולוגי. אין מחסור בכ"א אבל מבחינה אסטרטגית לאומית כדאי להכשיר כ"א מקצועי שלא יעסוק רק בפיקוח.
 2. חקלאות ימית – כולל כלובי דגים. בתחום זה אין צורך בהכשרה ייחודית ואין מחסור בכ"א (לפי דעת המרואיינים). בתחום מוצרים שמקורם מהים כמו גידול אצות – היתרון של ישראל בפיתוח ולא בייצור המוני. בתחום של ביולוגיה ימית, ייתכן לדעת המרואיינים שיש בארץ עודף של כ"א.
 3. ספנות – תחום זה כולל בתוכו את הנמלים ואת הספנות.

¹⁷⁰ רשימת העונים לשאלון LLL הים כמשאב לאומי: אדליסט דור, לשעבר מייסד, Rodmarine (החברה נסגרה), קורן סרגיו, מנכ"ל, BaroMar, אשר אמנון, מייסד וסמנכ"ל פיתוח, NayamWings, כרמלי סער, מנכ"ל ושותף, NayamWings, לירז אלי, מייסד ומנכ"ל, Agam Aquaculture, רצין מיכאל, DIR, Aqua Green, חנן כרמלי, theDOCK, מנהל שותף

- ענף הספנות גלובלי ורוב כ"א גלובלי (מאפשר עבודה זרה ללא הגירה). כיום יש 6 או 7 אוניות עם דגל ישראלי בלבד. החוק מחייב שבאניות בבעלות או שליטה ישראלית יהיה צוות ישראלי מינימלי- כ-7 קצינים. היום יש בצי הסוחר כ- 120 קצינים ויש מחסור של כמה מאות קצינים.
- הנמל הוא מתקן פיזי נייח הנמצא בחופי המדינה הדורש כ"א מיומן. כ"א הקשור להפעלת הנמל (מנופים, מכולות וכד') וכ"א שמפעיל את התשתיות של הנמל כמו נתבים, פקחים וכד'. תפקידים אלה מחייבים כוח אדם עם ידע שקשור לתחום הימי – בעלי מקצוע שהיו על ספינות וחזרו לנמל. בתחום זה חסר כ"א. המחסור נובע מסיבות רגולטוריות. למרות שהחוק מחייב כ- 7 קצינים בכל ספינה בבעלות ישראלית, בפועל הם מקבלים פטור בגלל מחסור בכ"א וזה משליך על מאגר כ"א רלבנטי לניהול הנמל. היום אין מספיק נתבים בישראל.
- אוניות חכמות/אוטונומיות - הבעיה בישראל ובעולם היא ברגולציה. על פי החוק הישראלי, אסור להשיט אוניה בלי קצין על הגשר, וברגע שזה אוטונומי אז כמובן שאין קצין על הגשר וזה משליך כמובן על הניסויים בכלים האלה. בתחום הזה, השחקנים הכי גדולים בעולם, בתחום הספנות, הן חברות ענק בהיקף פעילות של מיליארדי דולרים. הן עושות הרבה מאוד פיתוח, והטכנולוגיות כבר קיימות. מה שמעכב, בכל העולם, הוא נושא הרגולציה. בישראל כדאי לפתח ולעודד פיתוח של טכנולוגיות תומכות (כגון ווייז של אוניות, מניעת תאונות וכד').

11.5 מצב קיים - הכשרות LLL בתחום הים כמשאב לאומי

קורס חובל משמרת - מסלול ההכשרה בהרשות לחינוך והכשרה ימיים בעכו. אינו מחייב תואר אקדמי אך מאפשר מסלול אקדמי (לאחר הסמכת הצוער לקצין סיפון, במידה ויתחיל לעבוד באחת מחברות הספנות שהן הבעלים של הרשות (כיום צים ו-XT) יהיה הקצין זכאי למימון סימסטר לימודים על כל חצי שנת עבודה. הלימודים לקצין בצי סוחר מוכרים ע"י אוניברסיטת חיפה כשווה ערך ל- 30 נק' אקדמיות בלימודים רב תחומיים). זהו בית הספר היחידי בישראל.

המכון לחקר הנדסה ימית - התפתחות מקצועית באמצעות IMarEST.

המכון להנדסה ימית, מדע וטכנולוגיה (IMarEST) יצר שותפות עם המכון הישראלי לחקר הנדסה ימית (CAMERI) בכדי לתמוך בהכשרה ושימור כישרונות של מומחים ימיים בישראל. שני הארגונים הקימו תוכניות פיתוח הכשרה מוכרות וקורסי הכשרה כדי להבטיח המשכיות של כישרונות חדשים לתחום ההכשרה הימית¹⁷¹.

▪ Advanced Topics in Coastal and Marine Engineering

תיאור כללי – חשיפה לסוגים העיקריים של מבנים ימיים הנמצאים באזור החוף (נמלי ים, מספנות, הגנות חוף) והן מחוץ לחוף (פלטרמות נפט/גז מדף וצינורות, איים מלאכותיים, מתקני אנרגיה המשתמשים בכוח מתחדש של רוח, גלים, זרמים, גאות ושפל, טמפרטורה ומליחות מים) והיכרות בסיסית עם כל סוג כולל סקירה כללית של ההתפתחות היסטורית,

¹⁷¹ <https://www.imarest.org/policy-news/institute-news/6239-israeli-coastal-and-marine-engineering-research-institute-commits-to-professional-development-through-imarest>

פונקציות עיקריות, מוזרויות מבניות, סוגיות טכנולוגיות, תחזוקה, אינטראקציה בין מבנה-קרקע-מים והיבטים סביבתיים.

הקורס יציג את הגישות העיקריות לבחירת סוג המבנה האופטימלי ותחומי היישום הקשורים בהתחשב בפרמטרים טכניים, הסכוניים וסביבתיים.

מטרות הקורס:

- הבנה של הגישה המקיפה והמאוחדת למבנים וטכנולוגיות שונות המיושמות בהנדסה ימית.
 - מודעות לכלים האנליטיים והמשאבים להערכה וחיזוי התנהגות המבנה בתנאים טבעיים שונים ותחת עומסים טבעיים ותפעוליים שונים.
 - יכולת הערכה באופן ביקורתי של הכלים קיימים ופוטנציאליים (FEM המבוססים על מודלים שונים של התנהגות חומרים) לגבי תחומי היישום שלהם.
- קהל יעד: מהנדסים אזרחיים, אדריכלים, חוקרים וסטודנטים לתארים מתקדמים המתעניינים בתחום הנדסת נמל, חופים ימי.
- הלימודים היברידיים ונמשכים 13 שבועות. כל מפגש 2 ש"א.

11.6 השלמות נדרשות - פער בין הצרכים לקיים

בתשובות לשאלון לבחינת צרכי הכשרות LLL בחברות לתחומי הים כמשאב לאומי¹⁷² (סיכום ממצאי השאלון מופיע בנספח לחלק זה). צוינו שתחומי השלמות נדרשים בתחומים הבאים:

- תרמו-דינמיקה וזרימה
 - שיטות בנייה ימיות
 - שיטות להתקנת מבנים תת-מימיים
- כמו כן מקבץ של קורסים בנושאים ספציפיים (בתוכניות של תארים מתקדמים):
- שרשרת האספקה הימית בדגש על ספנות ונמלים
 - כלכלת הפחמן - אספקטים ימיים
 - מתקנים ימיים
 - ארכיטקטורת אוניות (הנדסה אזרחית)

בנוסף עלה הצורך שתהיה התמקדות רחבה יותר תחום המדגה בפקולטה לחקלאות ברחובות

- ענף המדגה בישראל מאוד מדוכא ומצומצם בגלל היבוא מסין, כדאי לכוון לפיתוח ישראלי של זנים מיוחדים.

¹⁷² רשימת העוגנים לשאלון LLL הים כמשאב לאומי: אדליסט דור, לשעבר מייסד, Rodmarine (החברה נסגרה), קורן סרגיו, מנכ"ל, BaroMar, אשחר אמנון, מייסד וסמנכ"ל פיתוח, NayamWings, כרמלי סער, מנכ"ל ושותף, NayamWings, לירז אלי, מייסד ומנכ"ל, Agam Aquaculture, רצין מיכאל, DIR, Aqua Green, חנן כרמלי, theDOCK, מנהל שותף.

11.7 סיכום ומסקנות

קיומו בישראל של כוח אדם מיומן ברמה מקצועית גבוהה, בתחומי הים השונים, מהווה בסיס ומשאב חיוני להתפתחות תהליך של צמיחה כחולה וחדשנות במרחב הימי, כמו גם לתפקוד תקין של המרחב הימי בהיבטים כגון: ספנות ונמלים, הקמת מבנים ימיים, ניהול משאב החול הימי, מחקר, מדע, ניטור ושמירת הסביבה הימית.

מדינת ישראל נדרשת להכשיר כוח אדם מקצועי בתחומים הטכנולוגיים, הנדסיים ובתחומי מדעי הים, הספנות, ושמירת הסביבה כפי שקיים במדינות המפותחות. היעדר ראיה כוללת של מקצועות ותחומי ההכשרה הנדרשים, עשוי לסכן או לעכב את צמיחתה של כלכלה המבוססת על תחומי הים.

כיום בולט בישראל העדרן של תוכניות הכשרה במקצועות שונים כגון בתחום ההנדסה הימית והיצע מצומצם של אנשי מקצוע בתחומים אחרים של מדע, הנדסה, אסטרטגיה ימית, ספנות ונמלים, מורשת ותחומים נוספים¹⁷³. כדאי לשקול תוכניות מיקרו תארים בתחומים ספציפיים כמו תרמו-דינמיקה וזרימה, שיטות בנייה ימיות, שיטות להתקנת מבנים תת-מימיים, שרשרת האספקה הימית בדגש על ספנות ונמלים, כלכלת הפחמן - אספקטים ימיים, מתקנים ימיים וארכיטקטורת אוניות.

בשנים האחרונות קטן חלקם של בעלי המקצוע הישראליים בצי הסוחר ומספר האניות השטות תחת דגל ישראל. קיומו של כוח אדם מקצועי ומיומן בתחום הימאות חיוני לעתידו של ענף הספנות בישראל:

- ככוח אדם מקצועי לצי הסוחר.
- ככוח אדם מקצועי לתפעול כלי השיט של הספנות החופית עבור המשתמשים השונים במרחב הימי (כגון בתחומי: חקלאות ימית, דיג, תשתיות נפט וגז, עבודות הנדסיות ימיות, מחקר וכד').
- ככוח אדם מקצועי לתפעול השוטף של נמלי ישראל (למשל: נתבים, רכ חובל נמל וכד').
- ככוח אדם ניהולי בתפקידי רגולציה ופיקוח על הפעילות המתקיימת במרחב הימי (למשל: רשות הספנות והנמלים).

אחד התנאים לצמיחה כלכלית בים והביטוי להם כפי שמתואר במסמך החזון והמדיניות למרחב הימי של ישראל⁸⁶ הוא קידום הכשרה מקצועית ימית – גיבוש יכולות מקצועיות ימיות על בסיס בחינת הצרכים הלאומיים כתשתית לצמיחה כחולה.

מסקנות

- היעדר תשתית מספקת להכשרה של כוח אדם מקצועי למקצועות הים, בתחומים הטכנולוגיים/הנדסיים ובתחומי מדעי הסביבה הימית - תשתית זו הינה מרכיב חיוני בעידוד "הצמיחה הכחולה" של ישראל. היעדרה עשוי להוות צוואר בקבוק בהמשך מיצוי הפוטנציאל הכלכלי בים.

¹⁷³ מנהל התכנון - המרחב הימי של ישראל. מסמך חזון ומדיניות למרחב הימי של ישראל. נובמבר 2022
[https://www.gov.il/BlobFolder/policy/sea_policy_suggest/he/Water_Energy_Communication_maritime_space_p
olicy-doc_nov22.pdf](https://www.gov.il/BlobFolder/policy/sea_policy_suggest/he/Water_Energy_Communication_maritime_space_policy-doc_nov22.pdf)

▪ שיפור ההכשרה המקצועית בתחומי הים באופן שיתמוך בפיתוח ענפי הכלכלה הכחולה, תשתיות ימיות וההגנה על הסביבה הימית.

הקושי בגיוס כוח אדם לספנות ורצון להפחתת עלויות תפעול האוניות דוחפים את התעשייה להקטנת הצוותים על ידי הצגת טכנולוגיה מתקדמת בתחומי הניווט וההפעלה של האוניות - אוטומציה של תהליכים וספנות אוטונומיות. מדובר על הפעלה מרחוק של אוניות ממרכזי בקרה מהחוף או ספנות אוטונומיות לחלוטין בקווים קבועים כגון קווי מעבורות, אספקת אסדות קבועות בלב ים וכדומה. תחום זה.

התופעה של תקיפות סייבר והמעורבות של שחקנים מדינתיים ולא־מדינתיים בתקיפות אלה על תשתיות קריטיות כגון נמלים, הן מבחינת טכנולוגיית מידע, והן מבחינת טכנולוגיה תפעולית.

צורך במדעי הנתונים בתחום הימי - בים ובנמלים פועלות מערכות רבות כגון אוניות, מנופים, מטענים ועוד המייצרים כמויות גדולות מאוד של נתונים החל באונייה ומנוף וכלה במכולה בודדת. נתונים אלו ניתנים לעיבוד וניתוח בכלים של ביג־דטא ובינה מלאכותית (AI). התובנות מתהליכים אלו משפרות ומייעלות את זרימת המוצרים בשרשרת הערך הלוגיסטי¹⁷⁴.

כל אלה דורשים הכשרה. יש לציין שהכשרה זו היא רוחבית – אוטומציה של תהליכים, הגנות סייבר ומדעי הנתונים ובחלק הראשון של עבודה זו נמצאו הכשרות רבות בתחומים אלה.

יש להתאים הכשרות אלה לתחום משאבי הים. בנוסף לנאמר לעיל (תכניות מיקרו-תארים)

11.8 נספחים

11.8.1 נספח א' - ניתוח תשובות לשאלון בתחום הים כמשאב לאומי

העונים

- אדליסט דור, לשעבר מייסד, Rodmarine (החברה נסגרה)
- קורן סרג'יו, מנכ"ל, BaroMar
- אשחר אמנון, מייסד וסמנכ"ל פיתוח, NayamWings
- סער כרמלי, מנכ"ל ושותף, NayamWings
- לירז אלי, מייסד ומנכ"ל, Agam Aquaculture
- רצין מיכאל, DIR, Aqua Green
- חנן כרמלי, theDOCK, מנהל שותף בקרן הון סיכון ייעודית לתחום הספנות, נמלים ושרשרת הערך הלוגיסטית

איזה דיסציפלינות אקדמיות נדרשות על מנת לעסוק בתחום הים כמשאב לאומי?

- הנדסת אנרגיה (בדגש ימית ומתחדשת)
- הנדסה ימית
- מדעי הנתונים
- מדעי הסביבה הימית (פיסיקה, כימיה, ביולוגיה, אקולוגיה)
- מקצועות הימאות (הכשרת קציני ים)

¹⁷⁴ המרכז לחקר מדיניות ואסטרטגיה ימית - המרכז לחקר מדיניות ואסטרטגיה ימית (haifa.ac.il)

- תרמו-דינמיקה וזרימה
- שיטות בנייה ימיות
- שיטות להקמת מבנים תת-מימיים
- הנדסת אווירונאוטיקה
- הנדסת תכנה
- הנדסת מכונות
- הנדסת אוניות
- מהנדס אווירונאוטיקה
- אדריכל ימי
- תעשייה וניהול
- כלכלה ומנהל עסקים
- הנדסת חומרים (בים רוב החומרים אינרטים, יותר מידע בפלסטיק למינו, וחומרים לטיפול בקורוזיה)

הערה: עבודות שדורשות הכשרה מקצועית בתחומים אחרים מוציא החוצה לעבודות קבלנות האם ניתנת לעובדי החברה שלך הכשרה בתחומי הים כמשאב לאומי (בתוך החברה או הכשרה חיצונית)? במידה וכן איזה הכשרה?

שש מתוך שבעת המשיבים ענו שלא (הכשרה תוך כדי עבודה, מסתמכים על ידע קיים, החברה עוסקת בתחום המדגה, אין צורך בהכשרה, רוב העובדים הם קיבוצניקים שעוסקים בדייג, שניים מהשותפים קצינים בכירים בחיל הים במילי ומכירים את נושא הים כמשאב לאומי הן בתחומים השונים וביניהם: הגז והמתווה, דייג, מרחב גיאוגרפי פוטנציאלי, מרחב למתקני אנרגיה וכיו"ב)

האם קיימים צורכי הכשרת כוח אדם בתחומי הים כמשאב לאומי שאין להם כיום מענה? אנא פרט את ההכשרות הספציפיות הנדרשות?

- כרגע לא
- המהנדסים צריכים להגיע עם הכשרה בתחום של שליטה ובקרה – הנדסת מכונות, חשמל, תוכנה הנדסת אווירונאוטיקה ותעשייה וניהול.
- בפקולטה לחקלאות ברחובות לא מושם מספיק דגש על נושא בעלי החיים (קיימת התמקדות בעיקר על ענף הבקר והרבה פחות על ענף המדגה). ממליץ שתהיה התמקדות רחבה יותר תחום המדגה.
- ענף המדגה בישראל מאוד מדוכא ומצומצם בגלל היבוא מסין, כדאי לכוון לפיתוח ישראלי של זנים מיוחדים.
- נושא "הים כמשאב לאומי" הוא כל כך רחב שאין הגיון בללמד אותו כנושא ליבה. אלא **ברמת תואר שני ומחקר - זויות מסוימות**. זאת היות ויש לנושא פנים רבות - רשימה חלקית - תחבורת ספנות ונמלים, אקולוגיה, חקלאות ימית, נפט וגז, בטחון, ועוד...

האם צפוי שינוי בהכשרות שייזרשו לכוח האדם בתחום זה בעתיד הקרוב מבחינת כמות ו/או סוג הכשרה והאם נדרשת היערכות/ התאמת ההכשרות לקראת שינויים אלו?

כולם ענו שלא למעט שניים:

- הים הוא העתיד אוכל, אנרגיה, מגורים, שדות תעופה
- יש מקום להכנסת קורס (או שרשרת קורסים) בנושאים ספציפיים (בתוכניות תארים מתקדמים): (1) שרשרת האספקה הימית בדגש על ספנות ונמלים (2) כלכלת הפחמן - אספקטים ימיים (3) מתקנים ימיים וארכיטקטורת אוניות (הנדסה אזרחית)

11.8.2 נספח ב' – סיכום ראיון עם אודי גונן, המרכז לחקר מדיניות ואסטרטגיה ימית

נושא הים כולל בתוכו 3 דברים עיקריים: התגלית של הים, האנרגיה והמסחר. וכל אחד מהנושאים האלה, זה עולם שלם שהוא מאוד שונה מהאחר. זהו תחום ורטיקלי שמאגד בתוכו הרבה מאוד דברים ויש בתוכו 3-4 קבוצות גדולות שצריך להסתכל על כל אחת מהן בנפרד.

- אנרגיה – כולל את שדות הקידוחים. רוב הטכנולוגיה היא טכנולוגיה לא ישראלית והחברות הן חברות זרות שמעסיקות מעט ישראלים ובעיקר בתחומי לוגיסטיקה (ניהול ורכש) ולא בתחום הטכנולוגי. אין מחסור בכ"א אבל מבחינה אסטרטגית לאומית כדאי להכשיר כ"א מקצועי שלא יעסוק רק בפיקוח.

חקלאות ימית – כולל כלובי דגים. בתחום זה אין צורך בהכשרה ייחודית ואין מחסור בכ"א (למיטב ידיעתו). בתחום מוצרים שמקורם מהים כמו גידול אצות – היתרון של ישראל בפיתוח ולא בייצור המוני. בתחום של ביולוגיה ימית, אני חושב שיש בארץ עודף של כ"א.

ספנות – תחום זה כולל בתוכו את הנמלים ואת הספנות.

- ענף הספנות גלובלי ורוב כ"א גלובלי (מאפשר עבודה זרה ללא הגירה). כיום יש 6 או 7 אוניות עם דגל ישראלי בלבד. החוק מחייב שבאניות בבעלות או שליטה ישראלית יהיה צוות ישראלי מינימלי - כ-7 קצינים. היום יש בצי הסוחר כ-120 קצינים ויש מחסור של כמה מאות קצינים.

- הנמל הוא מתקן פיזי ניח הנמצא בחופי המדינה הזורש כ"א מיומן. כ"א הקשור להפעלת הנמל (מנופים, מכולות וכד') וכ"א שמפעיל את התשתיות של הנמל כמו נתבים, פקחים וכד'. זה מחייב אנשים עם ידע שקשור לתחום הימי – אנשים שהיו על ספינות וחזרו לנמל. בתחום זה חסר כ"א. המחסור נובע מסיבות רגולטוריות. למרות שהחוק מחייב כ-7 קצינים בכל ספינה בבעלות ישראלית, בפועל הם מקבלים פטור בגלל מחסור בכ"א וזה משליך על מאגר כ"א רלבנטי לניהול הנמל. היום אין מספיק נתבים בישראל.

- אוניות חכמות/אוטונומיות - הבעיה בישראל ובעולם היא ברגולציה. על פי החוק הישראלי, אסור להשיט אוניה בלי קצין על הגשר, וברגע שזה אוטונומי אז כמובן שאין קצין על הגשר וזה משליך כמובן על הניסויים בכלים האלה. בתחום הזה, השחקנים הכי גדולים בעולם, בתחום הספנות, הן חברות ענק של מיליארדים. הן עושות הרבה מאוד פיתוח, והטכנולוגיות כבר קיימות. מה שעוצר זאת, זה נושא הרגולציה בכל העולם. בישראל כדאי לפתח כדאי לעודד פיתוח של טכנולוגיות תומכות.

▪ מסלול ההכשרה – קיימת ב-[הרשות לחינוך והכשרה ימיים](#) בעכו. קורס חובל משמרת אינו מחייב תואר אקדמי אך מאפשר מסלול אקדמי (לאחר הסמכת הצוער לקצין סיפון, במידה ויתחיל לעבוד באחת מחברות הספנות שהן הבעלים של הרשות (כיום צים ו-XT) יהיה הקצין זכאי למימון סימסטר לימודים על כל חצי שנת עבודה. הלימודים לקצין בצי סוחר מוכרים ע"י אונ' חיפה ל 30 נק' אקדמיות בלימודים רב תחומיים). זהו בית הספר היחידי בישראל.

מנועי צמיחה לכלכלה הישראלית - טכנולוגיות מפציעות

- מה שחסר זה לא הטכנולוגיה הבסיסית, זה ניסויים, רגולציה, תמיכה באופן כללי בסקטור ולא במדע הבסיסי. אי אפשר לבנות מלכתחילה מומחיות, מגמות ספציפיות. פחות תפקיד של האקדמיה, מתייחס יותר לתפקיד של התעשייה, משרד הכלכלה ורשות החדשנות.
- העברת תשתיות ומתקנים לים – הקמת מעין אי מלאכותי (כמו במאגר כריש) שהוא בעצם אוניית ענק (יותר מנושאת מטוסים) הכוללת טכנולוגיות שקשורות כמו בניינים חכמים. אין צורך בייבוש שטחים. למשל אפשר להעביר את כל בתי הזיקוק בחיפה ולהעמיס על שתי אוניות כאלה. יתרון: קרבה למקורות האנרגיה, פינוי קרקעות והרחקת מוקדי סיכון. חיסרון: מחייב הגנה צבאית על המתקנים. לכך נדרש כו"א הנדסי.

חברות

חברות שעוסקות נטו בים הן בודדות, אולי 20. שאר החברות שהן רבות, הן חברות שיש להם פתרונות גנריים שעשויים להתאים גם לסביבה ימית, כגון מצלמות, שעושים להן וריאציה מסוימת לתנאים של הים ונהפכות למצלמות ימיות. אבל הטכנולוגיה, הפיזיקה הבסיסית של הסנסור לא השתנתה.

דוגמות לחברות: אקו-ווייב פאוור - יצירת אנרגיה מגלי ים, הפקת אנרגיה מעומק הים, EONcrete - פיתחה בטון חדשני לבניה בסביבה ימית, המסייע למערכת האקולוגית הימית לגדול ולצמוח סביב מבנה הבטון, תוך חיזוקו. חברת Orca AI עוסקת בניווט אוטונומי של ספינות - מפתחת כלי ניווט ימיים מבוססי בינה מלאכותית עבור תעשיית הספנות [באתר קהילת הטכנולוגיות הימית בישראל](#) ניתן למצא מידע על פרטים על החברות, המוצרים והטכנולוגיות האחרונות בתחום הימי, מוסדות מחקר ואקדמיה לצד ארגונים ועמותות רלוונטיים וכמובן החדשות האחרונות בתחום.

12. תעשיית החלל

12.1 רקע

כבר בשנות ה-80 הייתה ישראל למדינה השמינית בעולם שמשיגה יכולת שיגור עצמאית למסלול (Orbit) מחוץ לאטמוספירה¹⁷⁵. במשך שנים התמקדה היכולת הישראלית במישור הביטחוני. אולם בעשור האחרון נכנסו לתעשיית החלל יותר חברות אזרחיות, עם עוד ועוד חברות פרטיות וסטארט-אפים השואפים לקצר את הדרך לחלל החיצון ולנצל טוב יותר את המרחב האינוסופי המקיף אותנו.

ההשקעה העולמית בחלל ב-2021 מוערכת ב-370 מיליארד דולר וצפויה להגיע ל-642 מיליארד עד סוף העשור, עם קצב צמיחה שנתי של 6.3%. על פי Euroconsult, כ-75% מסך ההשקעות מגיעים משימושים מסחריים; 16% מרכש ממשלתי, מחציתו בביטחון ומחציתו במישור האזרחי; ו-9% מגיעים מהוצאות ממשלתיות נוספות. היישומים המובילים הם ניווט (51%) ותקשורת לוויינית (41%). באשר לחלוקה לפי שרשרת הערך, ההשקעה בייצור נאמדת ב-25 מיליארד דולר, בשיגור - 8 מיליארד, בשליטה ובקרה קרקעית - 4 מיליארד, בתפעול הלוויינים עצמם - 15 מיליארד, וההשקעה בשירותים וביישומים המוצעים למשתמשי הקצה - 285 מיליארד דולר.

שיעור ההשקעה פר נפש בחקר החלל האזרחי בישראל עומד על 2.5 דולר בשנה, לעומת 65.6 דולר בארצות-הברית.

לישראל נכסים אזרחיים משמעותיים בתחום החלל, שבשנים האחרונות תופס תאוצה כלכלית בתחום האזרחי. חלל יכול להיות מנוף ליישומים רבים אחרים במדע וטכנולוגיה, שכן מדובר בעולם תוכן רב תחומי שנמצא בטלטלה. זאת ועוד, תחום החלל כקטר, מושך אליו חינוך, אקדמיה ותעשייה. בזכות יכולות מו"פ ישראליות בתחום, מדובר בבסיס נרחב להתקדמות טכנולוגית לישראל. זאת ועוד, כיום ישראל אוזנת בפחות מאחוז מתעשיית החלל העולמית. יחד עם זאת, הפוטנציאל של ישראל בתחום הוא עצום והתחום צפוי לגדול מבחינת משרות, כניסת חברות רב לאומיות ויכולות מדעיות (דוח המולמו"פ).

תחומים מפציעים עתידיים (לפרקי זמן של 5-15 שנה):

- תחום השיגור והטכנולוגיות הרלוונטיות לחלל - יכולות המפשטות גישה לחלל הקרוב ויכולות שיגור שלא מפני השטח של כדור הארץ לרבות יכולות Suborbital launch, ויכולות Air-launch-to-orbit. כמו כן מתפתחות יכולות שיגור אלטרנטיביות Mass driver. עוד הקשר הוא הפצעה של טכנולוגיות ממשפחת Inflatable space habitat. המרוץ לחלל מהווה כר להפצעה של טכנולוגיות רבות בתחום ההובלה של חברות חלל פרטיות.
- בתחום הצבאי מערכות מבוססות אימפולס אלקטרו מגנטי כגון מערכות, EMP weapon, Coilgun, Elctroshock weapon (מערכות קטנות יחסית).

¹⁷⁵ השיגור מחייב שלושה שלבים. השלב החדשני היה המשגר של השלב השלישי שפותח ויוצר ברפאל במיוחד למטרה זו. המשגר בשלב הראשון והשני לא היה שביט גם אם כתוב כך. שביט המקורי גם כן פותח ברפאל בשנות הששים. פיתוח הלוויין כמובן התחיל ברפאל בתחילת שנות השמונים (ד"ר גלעד פורטנה).

ישראל, ברוב המקרים, לא הצליחה לשמר את ההובלה במספר נישות טכנולוגיות בהן היא הייתה חזקה במיוחד בעבר. (דו"ח של משרד המודיעין¹⁷⁶)

במרוץ לחקר החלל, התעשיות הישראליות נמנות עם מועדון אקסקלוסיבי במיוחד. גולת הכותרת: מזעור לוויינים, חישה מרחוק, צילום ברזולוציה גבוהה ותקשורת. עולה השאלה איך הופכים את היכולות השמימיות למנועי צמיחה, ואיך רותמים אותן לטובת האתגרים הגלובליים?

יישומי החלל החדש (Space 3.0)

מתחילת העיסוק בחלל, הושפע מחיר המשימה בו באופן משמעותי ממחיר שיגור הלוויינים למסלול. הוזלת מחירי השיגור, מעבר לשימוש בטכנולוגיות אזרחיות, סטנדרטיות וזמינות, ושינויי גישה במוזלים העסקיים בתחום יזמות החלל - הביאו לשינויים מרחיקי לכת בתחום והרחיבו באופן משמעותי את הפוטנציאל המבצעי והמסחרי בתחום. תהליך זה, הנמצא עדיין בהתהוות, מכונה בשנים האחרונות "החלל החדש" ומגדיר מחדש את ההיבטים הטכנולוגיים, הכלכליים והמבצעיים של תחום החלל כולו.

היתרון האיכותי הישראלי רלוונטי במיוחד למה שמכונה יישומי החלל החדש - New Space, תחום שהולך ומתפתח מאז אמצע העשור הקודם ומאפיין, בין היתר, את המסעות המאושימים לחלל של חברות פרטיות דוגמת SpaceX שייסד אילון מאסק. הכוונה, למשל, לשימוש רב פעמי במשגרים ולמזעור של לוויינים ורכיבים שונים, תוך שימוש נרחב בנו טכנולוגיה. אלו מוזלים באופן ניכר את העלויות ומאפשרים לחברות קטנות, ולא רק למעצמות גלובליות, להציע את מרכולתן ופתרונותיהן.

פרופ' יצחק בן ישראל (לשעבר יו"ר סוכנות החלל הישראלית) טוען ש"החלל החדש הוא בשורה טובה לעולם בכלל ולישראל בפרט" ו"המרכיב הכי חשוב לתחום החלל בישראל הוא החינוך. הדבר תואם את המטרות שלנו באופן כללי כי הישרדותנו בעולם בנויה על יתרון בכוח אדם איכותי ובטכנולוגיה".

ככלל, תעשיית החלל המקומית עוסקת בעיקר בפיתוח וייצור לוויינים, בהפעלת לוויינים ובמכירת שירותי תקשורת וחישה מרחוק, עם אלמנטים פורצי דרך בניטור האוויר והסביבה, בחקלאות ועוד. ישראל מצטיינת בלווייני צילום ברזולוציה גבוהה המוצבים במסלולים נמוכים (LEO) ובלווייני תקשורת המוצבים במסלול גאוסטציונרי (GEO). עם עשרות הלוויינים שישראל שיגרה עד כה לחלל נמנים עשרת לווייני המודיעין אופק, חמשת לווייני התקשורת עמוס, צמד לווייני הצילום ארוס, לוויין המחקר הקטן TechSat2 שפותח בטכניון ולוויין הסביבה ונוס, פרי שיתוף פעולה ישראלי-צרפתי.

בימים אלה שוקדת סוכנות החלל הישראלית על תוכנית אסטרטגית, אשר תגדיר יעדים ברורים לנתח שתופסת תעשיית החלל המקומית בתוך זו הבינלאומית. התוכנית תתייחס, בין השאר, לגידול הצפוי והרצוי בהיקף המשרות בהייטק, למספר החברות שייכנסו לתחום, למספר החוקרים ועוד. בנוסף, עומדת על הפרק הקמתה של קהילת חלל שתחבר את העולם היזמי-עסקי עם האקדמיה ועם הרגולטורים, כדי לאפשר את התפתחותה של תעשייה משמעותית אף יותר. המודל שניצב לנגד עיניהם של אדריכלי תוכנית החלל הישראלית הוא הסייבר, המהווה יותר מ-10% מהשוק העולמי.

¹⁷⁶ מדינת ישראל. משרד המודיעין ומשרד החדשנות המדע והטכנולוגיה. הצבעה על פוטנציאל טכנולוגיות מפציעות כמצע מודיעיני לתכנון אסטרטגי ולקידום העליונות הטכנולוגית הישראלית. 17.07.2022

לסוכנות החלל הישראלית יש תוכנית לבניית שמונה לווינים (לוויני תבל שייבנו על ידי שמונה בתי ספר ברחבי הארץ). ההשקעה ללווין, כולל בניית חדרים נקיים ותחנת רדיו לתקשורת בכל אחד מבתי הספר, היא כ- 200 אלף דולר ללווין – פחות ממיליון שקל.

התאחדות התעשיינים בראשות הנשיא ד"ר רון תומר הכריזה על הקמתו של ענף החלל בהתאחדות, שייקרא Space 5.0 מתוך הכרה בחלק ההולך וגדל שתופס החלל בחיי האנושות על כל היבטיה – צבאי, כלכלי, אזרחי, אקולוגי ועוד. הענף החדש יפעל במסגרת איגוד ההייטק הישראלי של התאחדות התעשיינים במטרה להוביל לפיתוח תעשיית החלל בישראל כענף משמעותי, מובחן וצומח בתעשייה - תוך שיתוף פעולה עם החברות הישראליות בתחום, לצד גורמי חלל בינלאומיים. במסגרת זו הכוונה לרכז את כלל הפעילות של תעשיית החלל האזרחי במדינת ישראל, כולל עזרה וסיוע במענקים למחקר ופיתוח, סיוע בקידום טכנולוגיות חדשות, הקמת חממות טכנולוגיות ייעודיות לענף החלל, סיוע וטיפול בקשיים רגולטוריים אל מול משרדי הממשלה ועזרה בהגדלת היצוא של תעשיית החלל לשווקים קיימים וחדשים. כמו כן Space 5.0 יהווה מוקד ידע והעשרה בתחום החלל והכתובת הראשית לכל משקיע אשר מעוניין להתפתח ולהשתלב בענף.

בימים אלה מוקמת גם - מועצת מנהלים מייעצת ל- Space 5.0 שתורכב מאישים בכירים בתעשייה ובאקדמיה, שיוכלו לתרום מניסיונם ויכולותיהם בכדי לענות על האתגרים ולממש את הפוטנציאל העצום בתחום החלל החדש. כבר היום ישנן עשרות חברות ישראליות הפועלות בתחום החלל, והצפי הינו כי מספר זה רק ילך ויגדל.

האסטרונאוט הישראלי השני, איתן סטיבה, ביצע שורה של ניסויים פורצי דרך בטכנולוגיות ובפיתוחים מדעיים של חוקרים וסטארט-אפים ישראליים, בדגש על יישומי החלל החדש.

עם זאת, ולמרות הנהירה העולמית לתחום, פלטפורמות "החלל החדש" אינן יכולות עדיין להחליף לחלוטין, ויש שיאמרו אף לא באופן מהותי, מערכות "מסורתיות" וגדולות יותר שעלותן גבוהה. כפי שהתפתחות הטכנולוגיה בתחום הרחפנים לא החליפה לחלוטין את הכטמ"מים¹⁷⁷ והמטוסים המאוישים, נראה שגם לווייני "החלל החדש" לא יחליפו לחלוטין את מערכות ה"חלל הישן", וניכר כי שתי התפיסות ימשיכו להתקיים זו לצד זו.

תמהיל של "חלל חדש" עם "חלל ישן" יאפשר פתיחת המעטפת למשימות חדשות, וביצוע טוב יותר של משימות קיימות. ארגונים ישראלים מתחום החלל יידרשו להתאים את עצמם למציאות המתפתחת, ולבחור אסטרטגיה בחוכמה על-מנת לשרוד ולשגשג בשוק זה.

תעשיות, חברות ויזמים ישראלים בתחום החלל, יידרשו למצוא פתרונות חדשים לצרכים מסחריים וביטחוניים חדשים, לחדד את תוכניותיהם העסקיות ולהיכנס למים העמוקים של ייצור בכמויות גדולות ובקצב גבוה. כל זאת, תוך הסתערות על השוק וקיצור זמני פיתוח. עם זאת, בניגוד לחלל דור 2.0 שבו התבלטו חברות שהתחילו כמעט מאפס בתחום החלל, בחלל דור 3.0 נראה כי חברות בעלות ניסיון בחלל יוכלו להוביל מהלכים חדשניים, וישראל תוכל למצוא את עצמה בעמדת זינוק טובה.

דוגמאות לחברות פיתוח ומוצרים:

- אייכה מערכות (Ayecka): פיתוח חומרה ותוכנה לטרמינלים של לווייני תקשורת שיספקו אינטרנט מהחלל.

¹⁷⁷ כלי טיס מאויש מרחוק

- אפקטיב ספייס: לווייני הגרר של החברה, SPACE DRONE, מיועדים למגוון משימות שונות לתחזוקה ושימור של לוויינים בחלל.
- הליוס (Helios): הפקת חמצן מאדמת הירח.
- סטמראד (StemRad): מפתחת אמצעי מיגון מקרינה בכדור הארץ ובחלל - אפוד מיוחד המגן בין השאר על אגן הירכיים המכיל חצי ממו העצם באדם.

מקורות

הוועדה לגיבוש נושאים לתחומי עדיפות לאומית למו"פ. החלטה על תחומי עדיפות לאומית למו"פ אזרחי ישראל. המולמו"פ אוגוסט 2022

מדינת ישראל. משרד המודיעין ומשרד החדשנות המדע והטכנולוגיה. הצבעה על פוטנציאל טכנולוגיות מפציעות כמצע מודיעיני לתכנון אסטרטגי ולקידום העליונות הטכנולוגית הישראלית. 17.07.2022

רון, ג. (16.03.2022). טכנולוגיות על חלל. דה מרקר

בליזובסקי, א. (02.01.2023). "החלל החדש נותן הזדמנות מצויינת לישראל". הידען

רס"ן יואב. (02.11.2022). פרספקטיבה חדשה על "החלל החדש". מערכות

ממ. פעילות בתחום החלל (ממשלה, אקדמיה ותעשייה) בישראל - מסמך עדכון. 25.12.2017

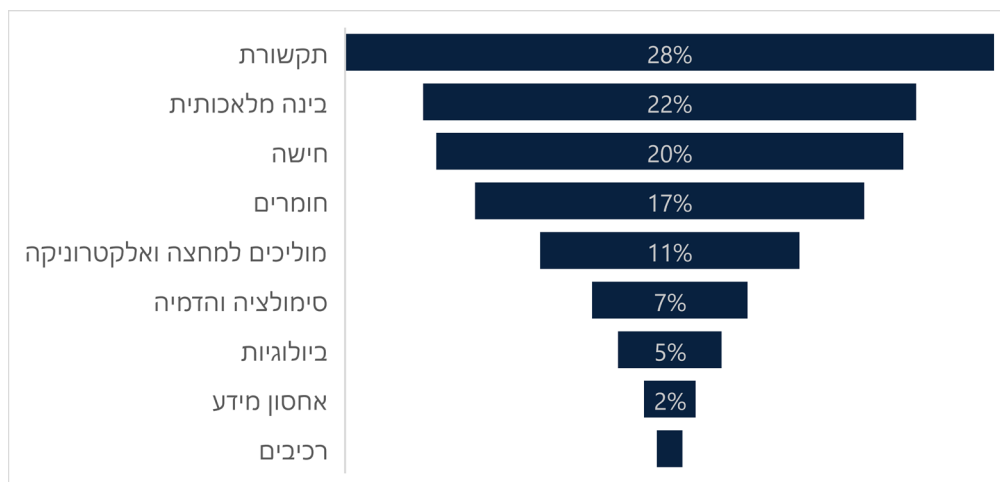
[/https://www.space.gov.il](https://www.space.gov.il)

12.2 חברות בתחום החלל

לפי סטארט-אפ ניישן סנטרל¹⁷⁸, פועלות כיום בישראל 88 חברות סטארט-אפ בתחום, לעומת 32 ב-2014.

טכנולוגיות הליבה שבהן הן עוסקות: ביולוגיות (4), תקשורת (25), אחסון מידע (2), רכיבים (1), חומרים (15), מוליכים למחצה ואלקטרוניקה (10), בינה מלאכותית (19), חישה (18), וסימולציה והדמיה (6).

איור 25: הטכנולוגיות העיקריות של חברות חלל בישראל



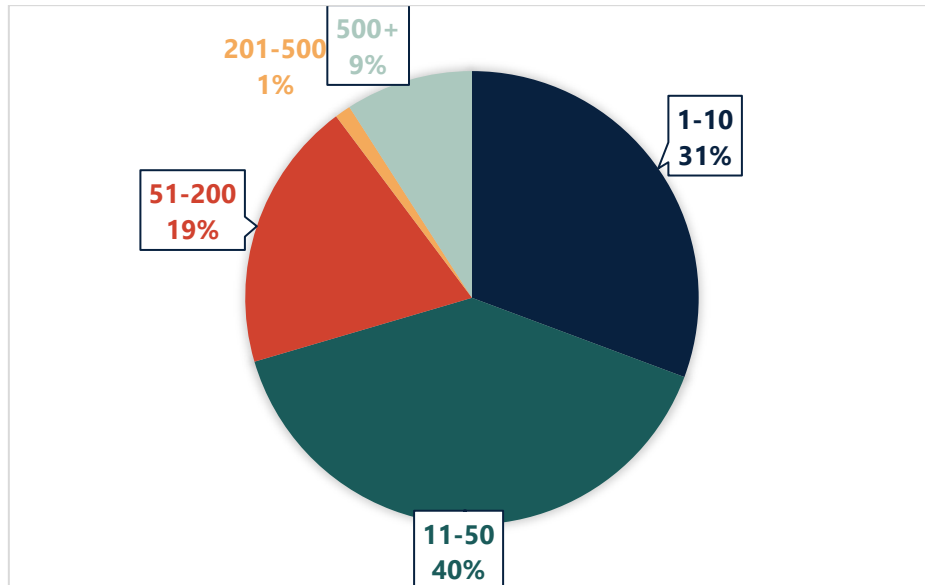
מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

¹⁷⁸ החיפוש בוצע לפי התגיות: space-tech, aerospace, astrospace, astronautics.

ל-64 חברות (73%) יש מוצר קיים ו-16 חברות בשלב הפיתוח. חברה אחת בשלב פיתוח לקוח. שאר החברות (5) נמצאות בשלב אלפא או בטא.

רוב החברות הן קטנות או בינוניות כפי שניתן לראות באיור הבא.

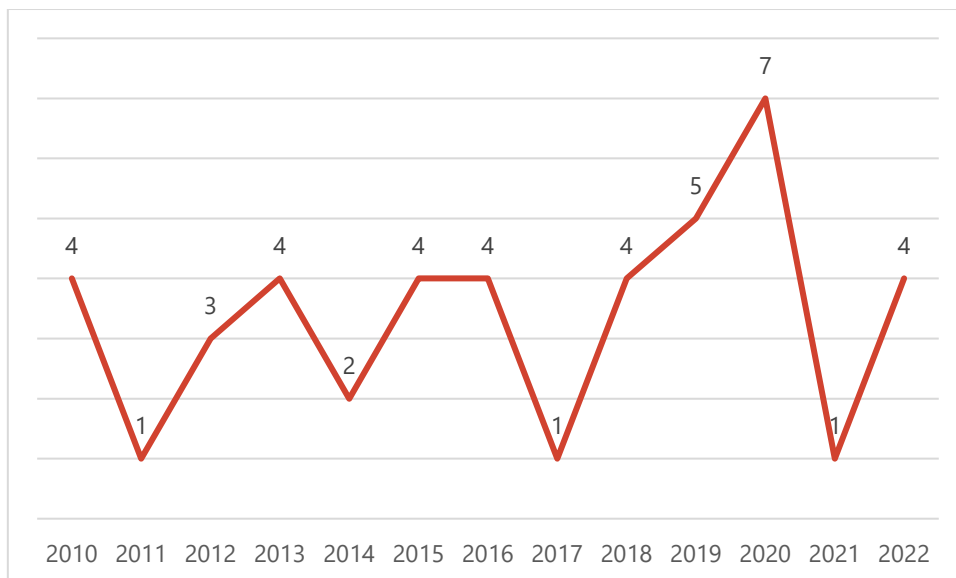
איור 26: חלוקה של החברות לפי מספר עובדים, בתחום החלל



מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

36% מחברות אלו הוקמו בשנים 2014-2020 (32 חברות). 2020 הייתה שנת שיא, בה הוקמו 7 חברות. בממוצע הוקמו כ-4 חברות כל שנה (למעט 2011, 2017, 2021).

איור 27: מספר החברות בתחום החלל בישראל לפי שנת הקמה



מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

13 חברות בשלב בשלות מלא (mature) שהן כ-15% מסך כל החברות. 45 חברות בשלב הינוקא 15 (pre-funding, pre-seed, seed) בסבבי גיוסים שונים (15%) והשאר ציבוריות.

מספר הקטן של חברות בוגרות מצביע על חוסר בשלות תעשייתית בישראל לעת עתה, כאשר ברור שהפוטנציאל לטווח ארוך גדול¹⁷⁹.

12.3 תחומי תואר/ידע בסיסי רלוונטי בתחום החלל

במסגרת שאלון לבחינת צרכי הכשרות LLL בחברות בתחום החלל^{123,180} (סיכום ממצאי השאלון מופיע בנספח לחלק זה) עלו התחומים הבאים:

- פיסיקה
- הנדסת חשמל ואלקטרוניקה
- מדעי המחשב
- הנדסת מכונות (mechanical and thermal)
- חישה מרחוק
- בקרה
- אווירונאוטיקה
- הנדסת חומרים
- הנדסת כימיה
- כימיה

מרבית האוניברסיטאות והמכללות אינן מקיימות תכניות ייעודיות בנושאי החלל, למעט הטכניון. עם זאת, ישנן קבוצות חוקרים ואפשרויות לא מעטות להתמחויות כחלק מהלימודים לתארים מתקדמים כלהלן:

הטכניון-מכון טכנולוגי לישראל – [הפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל ומכון אשר](#) הפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל בטכניון מציעה תואר ראשון עם תכנית מצטיינים, תואר מוסמך ותארים מתקדמים. תכנית הלימודים לתואר ראשון מורכבת מרכישת ידע מדעי רחב בשלושת הסמסטרים הראשונים. לאחר מכן, לימודים בנושאים בדיסציפלינות העיקריות בתחום, הכוללות אווירודינמיקה, מבנים, הנעה ובקרה. כמו כן, קורסים בהנדסת מערכת, תכן וייצור והנדסת חלל. בשנה הרביעית, מוצע ספקטרום רחב של קורסי בחירה על מנת לחשוף את הסטודנטים בפני פיתוחים מודרניים בתחום התעופה והחלל, כולל יישומי מחשב בתחום זה. בשנה הרביעית הסטודנטים יעסקו גם בפרויקט תכן מקיף לסיכום הידע שצברו בלימודיהם. פרויקט תכן זה יוקדש לתכנון מערכת תעופתית או חללית. בתארים מתקדמים ניתן להתמחות בשטחים הבאים: אווירודינמיקה ומכניקת הזרמים, מבנה ומכניקת המוצקים, הנחייה, ניווט ובקרה, הנעה ושריפה, ונושאים בין תחומיים כמו אווירואלסטיות, מסוקים, בקרת מבנים, תיאוריות ומתודולוגיות תכן, מערכות כלי טיס וחלל. בכל השטחים קיימת אפשרות למחקר בשיטות אנליטיות, ניסוייות או חישוביות. לפקולטה מעבדות מתקדמות בכל השטחים הנ"ל וכן חוות מחשבים מצוידות היטב.

¹⁷⁹ ראיון עם ד"ר גלעד פורטונה, לשעבר יו"ר תת וועדת אסטרטגיה בוועדת החלל 2015, ראש החטיבה לבניית האב טיפוס של הלווין הראשון ברפא"ל.

¹⁸⁰ רשימת העונים לשאלון LLL בנושא תעשיית החלל: חן מאיר, Terra Space Lab, מנכ"ל, פרת אהרון, Tehiru Space Technologies, פרדי לנג, NewRocket, סמנכ"ל פיתוח רכיבים ופיתוח עסקי בישראל, עופר לפיד, יועץ עצמאי מומחה תוכן בכיר ברמה עולמית בתחום החלל.

מכון אשר בטכניון - (ASRI) מטרתו לקדם ידע וחינוך בטכנולוגיית החלל ובמדעי החלל, על ידי ביצוע מחקר ופיתוח של מערכות חלל.

ASRI הוקם בשנת 1984 וחבריו הם פרופסורים ממספר מחלקות אקדמיות. הצוות המחקרי והטכני מעורב במחקר ופיתוח של כל ההיבטים הקשורים לטכנולוגיית החלל ולמדעי החלל.

מכון ASRI פועל בראייה לאומית רחבה. הוא מעודד עבודה בינתחומית ושיתוף פעולה של חוקרים ישראלים מכל האוניברסיטאות והסוכנויות וכן מהתעשייה.

מכון ASRI הוא בעל הכרה עולמית לאחר שהצליח להביא פעילויות מחקר הקשורות לחלל לחזית המדע והטכנולוגיה הן ברמה הלאומית והן הבינלאומית.

במכון גם מתקיים מחקר אקדמי ויישומי היי-טק תעשייתיים המהווה בסיס מצוין לתחום המחקר היישומי של לוויינים קטנים.

אוניברסיטת בן גוריון בנגב - המעבדה לחישה מרחוק והדמאה פלנטרית

המעבדה לחישה מרחוק והדמאות פלנטאריות (EPiF) הינה מעבדה מחקרית החובקת דיסציפלינות שונות, ומקבלת תלמידים עם רקע אקדמי ממבחר חוגים כגון גיאוגרפיה, אלקטרו אופטיקה, גיאולוגיה, הנדסת חשמל, מדעי המחשב וחקלאות. המעבדה נמצאת במחלקה לגיאוגרפיה ופיתוח סביבתי בקמפוס הראשי של אוניברסיטת בן גוריון.

המעבדה משמשת כאחת מהמעבדות האזוריות של NASA להדמאות פלנטאריות ובעלת ארכיון פעיל של מפות והדמאות לוויינים של מערכת השמש.

אוניברסיטת תל אביב - ביה"ס לסביבה ולמדעי כדור הארץ ע"ש פורטר - החוג לגאופיזיקה

תחומי המחקר בחוג לגאופיזיקה עוסקים במדעים פלנטריים (מדעי החלל), במדעי האטמוספירה ובגאופיזיקה וגאולוגיה.

תחום המדעים הפלנטריים מיועד לחוקרים ולסטודנטים עם תארים מתקדמים. התחום כולל חקר סביבתו הקרובה והרחוקה של כדור הארץ, כוכבי לכת, ירחים, שביטים, אסטרואידים, המרחב הבין-פלנטרי והשמש, שכבות הספירה ועוד. בנוסף לכך, תלמידי מוסמך בחוג לגאופיזיקה, מתמקדים במדעי החלל הכוללים פיזיקת חלל, מדעים פלנטריים, מדעי האטמוספירה, גאופיזיקה יישומית ושל כדור הארץ.

חקר התווך הבינפלנטרי כולל את האינטראקציות המסובכות שבין התווך החללי ובין כוכבי הלכת, ירחיהם, חלליות ולוויינים. לאינטראקציה עם חלליות ולוויינים השלכות מעשיות רבות הקשורות בפעילותם התקינה של לוויינים בחלל בשימושיהם השונים כגון: תקשורת בינלאומית וארצית, מחקרים אוקיאנוגרפיים, מחקרים בחקלאות, מאזן מים, שימושים צבאיים, מעבורות חלל, חקר מערכת השמש והיקום.

על מנת להבין את התהליכים הבסיסיים הפועלים בסביבות הגופים במערכת השמש והתווך הבינפלנטרי משתמשים בתחומי פיזיקה וכימיה שונים ומגוונים כמו התיאוריה הקינטית של הגזים ופלאסמות, הידרודינמיקה ומגנט והידרודינמיקה, מכניקת הזרמים, פיזיקה גרעינית, אטומית ומולקולרית, אופטיקה, קינטיקה כימית, תרמודינמיקה.

מכון ויצמן למדע

המחלקה למדעי כדור הארץ וכוכבי הלכת בפקולטה לכימיה.

המחקר במחלקה Earth and Planetary Sciences (EPS) כולל מחקרים ניסויים, מחקרי שדה ומחקרים תיאורטיים המתמקדים בהבנת יחסי הגומלין המורכבים בין מערכות כדור הארץ

העיקריות, כמו גם כוכבי לכת אחרים. למדענים במחלקה יש מומחיות במגוון דיסציפלינות של מדעי כדור הארץ ומדע פלנטרי, כולל דינמיקת אקלים, הידרולוגיה, סביבות קרקע-מים, זרימת אוקיינוסים, paleoceanography וחקר דפוסי אקלים בעבר, אינטראקציות בין צמחים לסביבה, כימיה אטמוספרית, דינמיקה של עננים, דינמיקה של מערכת כדור הארץ, גיאוכימיה וגיאופיזיקה. דיסציפלינות אלו, והנושאים הנלמדים בכל אחת מהן, משולבים בסופו של דבר כאמצעי להבין ולחזות שינויים מקומיים, אזוריים וגלובליים. המטרה העיקרית היא לפתח פעילויות מדעיות החוקרות את הממשקים הקריטיים המחברים בין מערכות כדור הארץ. אלה כוללים את ממשקי הביוספירה-אטמוספירה, האוקיינוס-אטמוספירה, האוקיינוס-משקע והממשקים האטמוספירה-יבשה-קרקע-קרקע-מי תהום.

[המרכז לאסטרופיזיקה](#) הכולל מדעים פלנטריים ואסטרונומיה.

המרכז מקדם מחקר באסטרופיזיקה תיאורטית וניסיונית, קוסמולוגיה ונושאים קשורים לרבות אסטרונומיה תצפיתית, אסטרופיזיקה חישובית ואסטרופיזיקה של חלקיקים ניסיונית.

האוניברסיטה העברית בירושלים

[מכון רקח לפיזיקה](#) - במכון כ- 60 חברי סגל המלמדים ומבצעים מחקר ניסיוני ותיאורטי במגוון רחב של תחומים: אסטרופיזיקה, פיסיקה של חומרים מעובים, פיסיקה באנרגיה גבוהה, ביופיסיקה, פיסיקה של חומרים לא לינאריים ורכים, פיסיקה גרעינית וטכנולוגיות קוונטיות ופיסיקה אופטית.

[המכון למדעי כדור הארץ](#) - התמחות באקלים-אטמוספירה-אוקיינוגרפיה (א.א.א.)

ההתמחות ב-א.א.א. עוסקת בהבנה של תהליכי האקלים בכדור הארץ ובשני האלמנטים המרכזיים המשותפים בקביעת האקלים - האטמוספירה והאוקיינוסים - ויחסי הגומלין ביניהם. תכנית הלימודים כוללת קורסים בנושאים שונים וכן התנסות במעבדה ובהפלגות מחקר.

במסגרת התכנית לומדים על תהליכים פיזיקליים וכימיים הקשורים להרכבו של האוויר באטמוספירה ולתנועתו, על תהליכי התפתחות עננים והמטרת משקעים, על תנועת האוויר באטמוספירה ועל תנועת המים באוקיינוסים. תחומים נוספים הנלמדים הם: כימיה אטמוספרית, המחזוריות של פחמן דו-חמצני, מעברי קרינה באטמוספירה ומדידות מלוויינים, זרמים וגלים באוקיינוסים, שימוש במודלים נומריים לחיזוי מזג האוויר והאקלים ועוד.

12.4 צרכי התעשייה להכשרות LLL בתחום החלל

במסגרת העבודה הנוכחית נשלח שאלון לבחינת צרכי הכשרות LLL בחברות בתחום החלל¹⁸¹ (סיכום ממצאי השאלון מופיע בנספח לחלק זה). להלן פירוט הצרכים כפי שעלו מהשאלון:

- קורסים במתודולוגיה לכתובת תוכנה לחלל או למערכות עם צורך לאמינות גבוהה.
- קורסים בחישוב סטטיסטיקת אמינות מערכת למערכת מורכבות.
- לימודים במסגרת אוניברסיטת החלל הבינלאומית.

¹⁸¹ רשימת העונים לשאלון LLL בנושא תעשיית החלל: חן מאיר, Terra Space Lab, מנכ"ל, פרת אהרון, Tehiru Space Technologies, פרדי לנג, NewRocket, סמנכ"ל פיתוח רכיבים ופיתוח עסקי בישראל, עופר לפיד, יועץ עצמאי מומחה תוכן בכיר ברמה עולמית בתחום החלל.

12.5 מצב קיים – הכשרות LLL בתחום החלל

במפוי שערכנו בחלק א' של עבודה זו לא נמצאו הכשרות בתחום החלל שעונה על הקריטריונים שנקבעו למחקר זה.

בתשובות לשאלון לבחינת צרכי הכשרות LLL בחברות בתחום החלל¹²⁴ (סיכום ממצאי השאלון מופיע בנספח לחלק זה) שנשלחו לחברות עלה שההכשרות מבוצעות בחברות והשתתפות בכנסים.

- הדרכות פנימיות בחברה להבנת השפעות של תופעות פיזיקליות בחלל על מעגלים אלקטרוניים ומשמעותם לחומרה ולתוכנה ותיקני הדרישות לחלל והשפעתם על תכנון מערכת.
- לימוד תוך כדי עבודה.
- החברה מקיימת הדרכות פנימיות בנושאי חלל ולימוד מתודולוגיות התכנון שהוגדרו בחברה בהתאמה. כמו כן ישנם מספר כנסים לחלל בהם מוצגות מתודולוגיות והחברה שולחת נציגים המחזירים את הידע לחברה. לאוניברסיטת החלל הבינלאומית
- חברות שחפצות בפיתוח העובדים שולחות אותם לאוניברסיטת החלל הבינלאומית, בין אם לתוכנית הלימודים המלאה או לקורס המנהלים. שניהם ייחודיים בעולם בפיתוח כוח האדם (בעולם).

12.6 השלמות נדרשות – פער בין הצרכים לקיים

בתשובות לשאלון לבחינת צרכי הכשרות LLL בחברות בתחום החלל¹²² (סיכום ממצאי השאלון מופיע בנספח לחלק זה) שנשלחו לחברות עלו התחומים הבאים:

- קורסים במתודולוגיה לכתיבת תוכנה לחלל או למערכות עם צורך לאמינות גבוהה.
- קורסים בחישוב סטטיסטיקת אמינות מערכת למערכת מורכבות
- הנדסת מערכות מרובות וחישובי אמינות
- הכשרה באוניברסיטת החלל הבינלאומית (תכנית לימודים מלאה או הכשרה למנהלים).

12.7 סיכום ומסקנות

החלל הוא תחום רחב הכולל תתי תחומים רבים: אוטונומיה, חיישנים למיניהם, הנעה רקטית, הנעת טילים, הנדסת חלל, הנעה בחלל ועוד.

אנשים רבים שעוסקים בחלל מגיעים מדיסציפלינות שונות ושייכים לפקולטות שונות. השכלה טובה ללימודי חלל היא השכלה הנדסית ומדעית בסיסית – פיזיקה, הנדסת מכונות, הנדסת חשמל, מחשבים.

תוכנית של סוכנות החלל הישראלית שהוגשה למשרד החדשנות, מציעה להכפיל את מספר החברות והעובדים בענף¹⁸². לתוכנית יש ארבע מטרות מרכזיות: הראשונה חיזוק ופיתוח תעשיית החלל האזרחית כמנוע צמיחה; השנייה היא חיזוק ותמיכה במחקר המדעי בתחום

¹⁸² <https://www.calcalist.co.il/calcalistech/article/hktk9vpic>

החלל; השלישית היא קידום ופיתוח ההון האנושי הנדרש להמשך חיזוק וצמיחת תחום החלל; והרביעית חיזוק מעמדה הבינלאומי של ישראל בתחום החלל.

התוכנית מציבה שורה של יעדים מדידים לפיתוח תחום החלל. למשל, הכפלת כמות חברות החלל שמספרן עומד היום על כ-60 ל-120 לפחות. כמו כן התוכנית מציבה יעד של הכפלה פי 4 של מספר המועסקים בתחום מ-2,500 לכ-10,000. ישראל תשקיע 600 מיליון שקל בתוכנית חלל חדשה.

יעדים אלה מחייבים תשתית של לימוד לאורך החיים בתחומים הבאים (כפי שהוזכר לעיל): אוטונומיה, חיישנים למיניהם, הנעה רקטית, הנעת טילים, הנדסת חלל, הנעה בחלל, עבור עובדים עם השכלה הנדסית ומדעית בסיסית של פיזיקה, הנדסת מכונות, הנדסת חשמל, הנדסת חומרים, הנדסת כימיה, כימיה ומחשבים. בנוסף, כפי שעלה בשאלונים גם ב:

- מתודולוגיה לכתיבת תוכנה לחלל או למערכות עם צורך לאמינות גבוהה.
- חישוב סטטיסטיקת אמינות מערכת למערכת מורכבת
- הנדסת מערכות מרובות וחישובי אמינות
- יישום בינה מלאכותית (AI), למידת מכונה (ML) וסייבר במערכות חלל ("כל שיגור הוא בית ספר"¹⁸³).

כל זאת בנוסף ללימודי [להנדסת אווירונאוטיקה וחלל](#) בטכניון.

¹⁸³ ראיון עם ד"ר גלעד פורטונה, לשעבר יו"ר תת וועדת אסטרטגיה בוועדת החלל 2015, ראש החטיבה לבניית האב טיפוס של הלוחין הראשון ברפא"ל.

12.8 נספחים

12.8.1 נספח א' - ניתוח תשובות לשאלון בתחום החלל

העונים

- חן מאיר, מנכ"ל ומייסד שותף, Terra Space Lab
 - פרת אהרון, Tehiru Space Technologies
 - פרדי לנג, סמנכ"ל פיתוח רכיבים ופיתוח עסקי בישראל, NewRocket
 - עופר לפיד, יועץ עצמאי מומחה תוכן בכיר ברמה עולמית בתחום החלל
- איזה דיסציפלינות אקדמיות נדרשות על מנת לעסוק בתחום הים כמשאב לאומי?

- פיסיקה
- הנדסת חשמל ואלקטרוניקה
- מדעי המחשב
- הנדסת מכונות (mechanical and thermal)
- חישה מרחוק
- בקרה
- תעשיית חלל כוללת דיסציפלינות רבות, מדעיות, הנדסיות, משפטיות ועוד, על מנת לפעול בצורה יעילה. בתחום החלל נדרשת השכלה מולטי דיסציפלינרית כפי שרוכשים באוניברסיטת החלל הבינלאומית, כדי לפעול באופן יעיל בדיסציפלינה מסוימת נדרש תואר שני או שלישי רלוונטי: פיסיקה, אלקטרוניקה, אווירונאוטיקה, הנדסה מכונות, הנדסת חומרים, ועוד ועוד.

הערות:

- לא נדרשת הכשרה נוספת לצורך פעילות החברה בתחומי החלל
 - We're too early to answer these questions. All of the engineers we work with are experts in their field, and none of them is from Israel.
- האם ניתנת לעובדי החברה שלך הכשרה בתחומי תעשיית החלל (בתוך החברה או הכשרה חיצונית)? במידה וכן איזה הכשרה?
- לא
 - בחברה הדרכות פנימיות על הבנת השפעות של תופעות פיזיקליות בחלל על מעגלים אלקטרוניים ומשמעותם לחומרה ולתוכנה ותיקני הדרישות לחלל והשפעתם על תכנון מערכת.
 - לימוד תוך כדי עבודה.
 - החברה מקיימת הדרכות פנימיות בנושאי חלל ולימוד מתודולוגיות התכנון שהוגדרו בחברה בהתאמה. כמו כן ישנם מספר כנסים לחלל בהם מוצגות מתודולוגיות והחברה שולחת נציגים המחזירים את הידע לחברה.

- לי אין חברה אבל אני פוקד חברות רבות במסגרת תפקידיי השונים לרבות ברשות החדשנות. חברות שחפצות בפיתוח העובדים שולחות אותם לאוניברסיטת החלל הבינלאומית, בין אם לתכנית הלימודים המלאה או לקורס המנהלים. שניהם ייחודיים בעולם בפיתוח כוח האדם (בעולם).

האם קיימים צורכי הכשרת כוח אדם בתחומי תעשיית החלל שאין להם כיום מענה? אנא פרט את ההכשרות הספציפיות הנדרשות?

 - לא
 - קורסים במתודולוגיה לכתיבת תוכנה לחלל או למערכות עם צורך לאמינות גבוהה.
 - קורסים בחישוב סטטיסטיקת אמינות מערכת למערכת מורכבת

האם צפוי שינוי בהכשרות שייזרשו לכוח האדם בתחום זה בעתיד הקרוב מבחינת כמות ו/או סוג הכשרה והאם נדרשת היערכות/ התאמת ההכשרות לקראת שינויים אלו?

 - אני עדיין לא יודע
 - השינוי בחברה הוא בבניית מערכות מורכבות יותר ולכן הנדסת מערכות מורכבות וחיושבי אמינות הם המקומות בהם הייתי שם דגש.
 - ההכשרות של אוניברסיטת החלל הבינלאומית נותנות את הבסיס, את העומק הספציפי ולומדים במהלך העבודה, לדוגמה טיפול בהיבטי קרינה בחלל וכולי.
 - צפוי גידול גדול בכמות העוסקים בחלל ובכמות העיסוקים השונים.

13. תקשורת לוויינים

13.1 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 הגאו-פוליטי של המדינה (פייקובסקי & לוי, 2010).

תעשיית החלל מורכבת מארבעה סגמנטים עיקריים¹⁸⁴: 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, **בפרק זה 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:

- **לוויין GEO** - Geostationary Earth Orbit satellite - זמן מסלול 24 שעות; גובה הלוויין 35,800 ק"מ; אורך חיי הלוויין – ארוך; דרושים רק שלושה לווייני GEO לכיסוי כדור הארץ והוא מכסה שטח גאוגרפי גדול; אידיאלי לשידור לווייני ותקשורת מרובת-נקודות; החיסרון הוא שקיים עיכוב משמעותי עד להעברת המידע.
- **לוויין MEO** - Medium Earth Orbit Satellite - זמן מסלול 8-2 שעות; גובה הלוויין 5000 - 12000 ק"מ; אורך חיי הלוויין ארוך; זמן מסלול 80-20 שעות; בגובה זה מספר הלוויינים הנדרש לכיסוי מלא של כדור הארץ 40-20 לוויינים נמוך יותר בהשוואה ללוויינים במסלולי LEO. זמן העיכוב עד להעברת המידע קטן יותר בהשוואה ללוויין GEO.
- **לוויין LEO** - Low Earth Orbit Satellite - זמן מסלול 40-10 דקות; גובה הלוויין 500-1500 ק"מ; זמן מסלול 0-10 דקות; אורך חיי הלוויין קצר ונדרשים 80-40 לוויינים לכיסוי מלא של כדור הארץ. לוויין LEO מספק את האות החזק ביותר מכיוון שהוא הכי קרוב לכדור הארץ. גם זמן העיכוב הוא נמוך ביותר מאותה סיבה. מנגד נדרש מספר גדול מאוד של רשת לוויינים¹⁸⁵.

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

¹⁸⁴ 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 מנדלבלית ועופר לפיד בכנס החלל הבין לאומי השנתי ע"ש אילן רמון בתאריך 30.1.13.

¹⁸⁵ <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/GEO-satellite-vs-MEO-vs-LEO-vs-Molniya-satellite.html>

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-LEO¹⁸⁶. עד כה, SpaceX, עסקה בתכנון, ייצור ושיגור טילים וספינות חלל, כעת מנסה החברה להיכנס לתחום של ייצור לוויינים.

גם בישראל קיימת פעילות מו"פ ענפה של חברות המפתחות בתחום לדוגמא: חברת אייכה מערכות (Ayecka) מפתחת חומרה ותוכנה לטרמינלים של לווייני תקשורת שמספקים אינטרנט מהחלל. המודמים של Ayecka כבר מאפשרים לאסטרונוטים בתחנת החלל הבינלאומית (ISS) לגלוש באינטרנט ולתקשר עם כדור הארץ בקצבים של מאות Mbps. החברה פיתחה מודם חללי מתקדם המשולב בתחנת החלל הבינלאומית ומספק ערוצי תקשורת לוויינית דרך תחנת ממסר במסלול גאוסטציונרי (GEO) – ומשם לכדור הארץ¹⁸⁷. דוגמא נוספת היא שת"פ בין סוכנות החלל הצרפתית, סוכנות החלל הישראלית ורפאל שהשקיעו 2.2 מיליון שקל לבדיקת מערכת ניווט שתהווה השלמה ללווייני ה-GPS המותקנת כיום בלוויינים. אם יוכח כי הרכיב עמיד לתנאי חלל, תוכל רפאל לשווק ליצרני לוויינים ותיפתח בפניה האפשרות לשווקו לשוק הננו והמיקרו לוויינים¹⁸⁸.

צמיחת שוק טכנולוגיות התקשורת הלוויינית הוא שוק מתפתח ודורש פתרונות לנושאים שונים כגון: עלות ייצור גבוהה - עלות טכנולוגיית התקשורת הלוויינית כוללת את עלות ייצור הלוויינים, שיגור הלוויינים והשקעות בפלח קרקעי ו/או בתחנות בסיס לניהול ושליטה 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; הפצת ערוצי טלוויזיה; שרותי דיווח חדשותי של ערוצי טלוויזיה ממקום התרחשותם; טלפוניה רב ערוצית; טלפוניה ניידת; תשתית לרשתות סלולריות; תקשורת נתונים למערכות עסקיות גדולות; תקשורת אינטרנט לאזורים מרוחקים; הפצת סרטי קולנוע; ותקשורת לוויינים צבאית.

התפתחויות עיקריות בתחום טכנולוגיית התקשורת הלוויינית ותחזיות עתידיות להלן מספר דוגמאות:

- **לוויינים בעלי תפוקה גבוהה (HTS-High Throughput Satellites):** לוויינים אלה משתמשים בטכנולוגיה מתקדמת ליצירת קרן ואלומות נקודתיות מרובות כדי לספק קצבי נתונים וקיבולת גבוהים משמעותית מאשר לוויינים מסורתיים. HTS יכול לתמוך בגישה לאינטרנט בפס רחב, ב-backhaul נייד ויישומים אחרים ברוחב פס גבוה.
- **לוויינים קטנים:** ידועים גם בשם CubeSats או ננו-לוויינים, הלוויינים הקטנים הללו הם הרבה יותר זולים וקלים לשיגור מאשר לוויינים מסורתיים. הם יכולים לשמש עבור מגוון רחב של יישומים, כולל חישה מרחוק, תצפית כדור הארץ וקישוריות לאינטרנט של הדברים (IoT).

¹⁸⁶ [https://en.wikipedia.org/wiki/Starlink_\(satellite_constellation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Starlink_(satellite_constellation))

¹⁸⁷ <https://www.space.gov.il/research-and-development/132761>

¹⁸⁸ <https://www.space.gov.il/research-and-development/130354>

- **תקשורת אופטית:** טכנולוגיה זו משתמשת בלייזרים להעברת נתונים בין לוויינים ותחנות קרקע. הוא מציע קצבי נתונים גבוהים יותר ורוחב פס גדול יותר מאשר תקשורת בתדר רדיו (RF) מסורתית.
- **לוויינים מוגדרי תוכנה (SDS):** לוויינים אלה משתמשים ברדיו מוגדרי תוכנה (SDRs) כדי לאפשר למפעילים להגדיר מחדש ולעדכן את יכולות התקשורת של הלוויין מרחוק. זה מאפשר שימוש יעיל יותר במשאבי לוויין ותגובה מהירה יותר לצרכי תקשורת משתנים.
- **רקטות לשימוש חוזר:** למרות שאינה טכנולוגית תקשורת לוויינית, הפיתוח של רקטות לשימוש חוזר על ידי חברות כמו SpaceX הפחית באופן דרמטי את עלות שיגור לוויינים. זה הפך את זה לאפשרי יותר לשגר ולתחזק קבוצות גדולות של לוויינים קטנים למטרות תקשורת ויש מקום למחקר ופיתוח בנושאים אלה.

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. 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 לוויינית ישמשו בוורטיקליים שונים בתעשייה, כגון: תחבורה ולוגיסטיקה, קמעונאות, ביטחון ומעקב, ואלה צפויים להביא את שוק טכנולוגיות תקשורת לוויינים לעידן חדש.¹⁸⁹ טכנולוגיית תקשורת לוויינים מהירה זולה ומתקדמת יותר תביא לשימוש רחב של טכנולוגיות אחרות המתפתחות כיום כמו יישומי IOT ("אינטרנט של הדברים") (Gaurav, 2018).

13.2 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). 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)¹⁹⁰

סדרת "עמוס" היא סדרת לווייני תקשורת אזרחיים שמרביתם נבנו על ידי התעשייה האווירית לישראל, והם מתופעלים על ידי חברת חלל תקשורת. הלוויין האחרון שבנתה התעשייה האווירית עבור חלל תקשורת הוא הלוויין "עמוס 6" שהתרכס על כן השיגור. עם הזמן, השם "עמוס" ניתן גם ללוויינים בייצור זר אשר מתופעלים על ידי חלל תקשורת (בעבר עמוס 5, ועמוס 7 שהוחכרו ללוויינים משומשים לתקופת זמן קצרה של שנים ספורות, וכן עמוס 5 ועמוס 17 שלא נבנו בישראל אך נבנו במיוחד עבור חלל תקשורת).

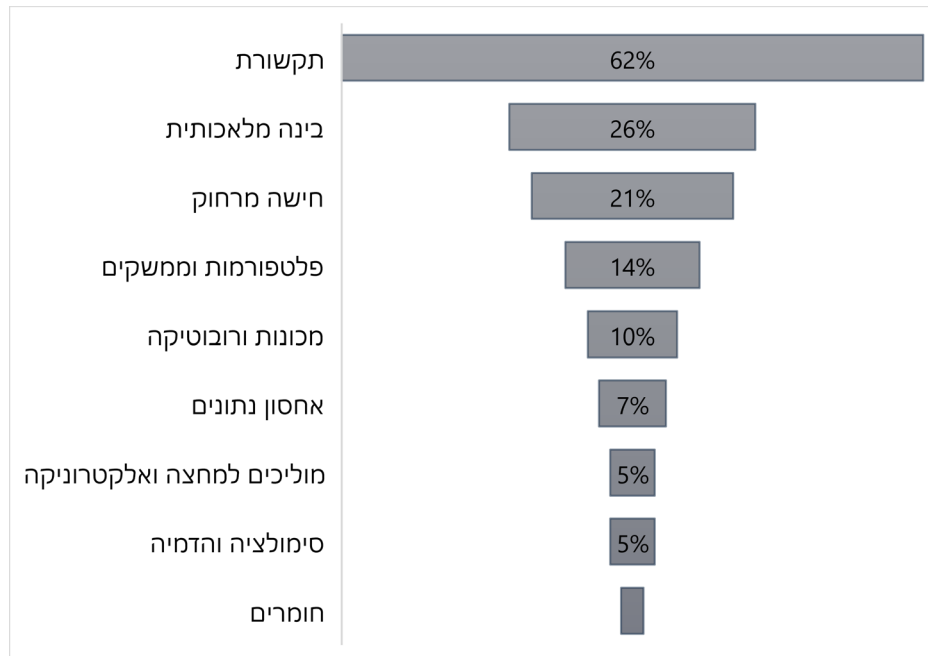
¹⁸⁹ Sinha G. Gaurav (2018), Satellite Communications: Global Market Through 2022, BCCResearch
¹⁹⁰ פעילות מו"פ, תשתיות וכוח אדם בתחום החלל האזרחי בתעשייה, באקדמיה ובמערכת החינוך בישראל, מוסד שמואל נאמן, 2014

13.3 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 ההפרדה בין פעילות אזרחית לבין פעילות ביטחונית קשה עד בלתי אפשרית. חלק מהחברות (לדוגמא: תע"א, רפאל, אלאופ, אימג'יסאט) פועלות בשני המגזרים וביותר מסגמנט אחד.

בעשור האחרון, ישראל מתמקדת בשלושה תחומים עיקריים של טכנולוגיות חלל: חישה מרחוק, תקשורת ותחום חדש שנוסף בשנים האחרונות הוא בינה מלאכותית. 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 תקשורת לוויינים.

איור 28: הטכנולוגיות העיקריות של חברות בתחום תקשורת לוויינים

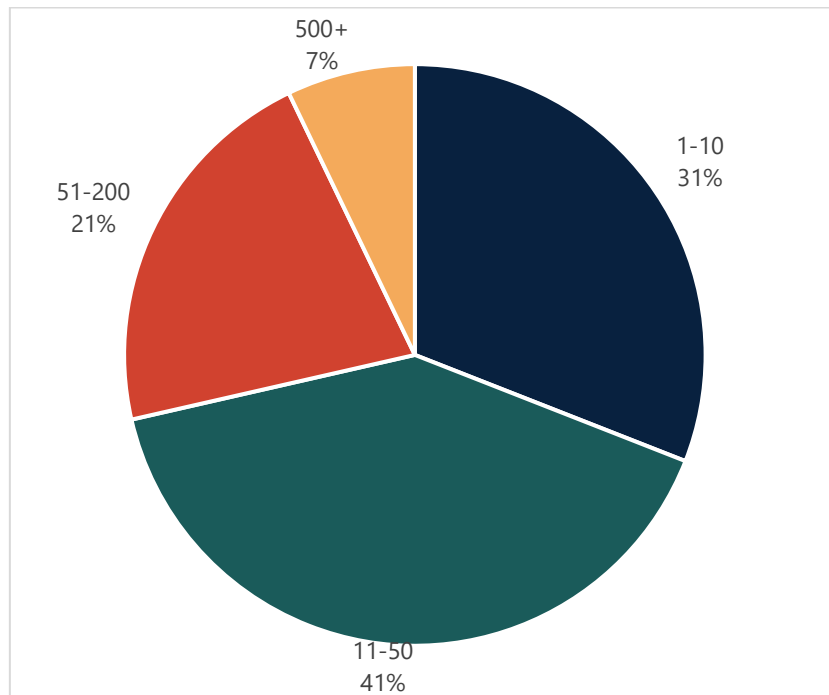


מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

על פי מאגר ה- Startup Nation Central Finder, בפברואר 2023 פועלות בישראל, 42 חברות¹⁹¹. בין השנים 2000-2022 הוקמו 32 חברות המהוות 75% מהחברות האלה. כאשר שנת השיא הייתה שנת 2015 בה הוקמו שמונה חברות. רוב החברות שהוקמו משנת 2000 הן חברות קטנות-בינוניות על 50 עובדים. אחת הסיבות יכולה להיות כי תחום זה של תקשורת לוויינים בשונה מפיתוח של אפליקציות דורש השקעה גדולה בתשתיות ובפיתוח שלרוב חברות סטארט אפ מתקשות לקום ללא גיוס והשקעה ממשלתית או עסקית. שליש מהחברות הן חברות קטנות עד 10 עובדים, 40% הן חברות בינוניות 11-50 עובדים. ושליש נוסף הן חברות גדולות שנכנסו לתחום כמו רפאל, אורביט תקשורת, תעשייה אווירית ספייסקום ופוקסקום.

¹⁹¹ המופיעות תחת התיוג: 'satellite-imagery' or 'satellite-internet' or 'satellite-modem' or 'satellites'

איור 29: חלוקה של החברות לפי מספר עובדים, בתקשורת לוויינים



מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתוני Startup Nation Central Finder

13.3.1 השקעות הון

25 מתוך 42 החברות שבמאגר Startup Nation Central Finder, גייסו הון בסך כולל של 969.2 מיליון דולר. כשליש מהגיוס, 293 מיליון דולר בוצע בשנת 2013 בחברת חלל תקשורת - Spacecom Satellite Communications¹⁹² על ידי התעשייה האווירית. השקעות נוספת בוצעו על ידי חברות ImageSat International על סך 140 מיליון דולר; CropX על סך 81 מיליון דולר; SatixFy 89.4 מיליון דולר; ASTERRA 99.5 מיליון דולר. בשאר החברות האחרות קטנות בהרבה.

13.3.2 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).

חוזקות של תעשיית תקשורת לוויינים

- **פעילות חלל באקדמיה שנמצאת בחזית הידע** - לדוגמה, הפעילות המחקרית בנושא של **צבר/קבוצות של לוויינים** שנמצאת בחזית הידע העולמי מבחינת ציוד מחקר 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.

¹⁹² 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.

- **תהליכי עבודה** - המאפיינים והמפתחים עובדים יחד בצורה הזוקה 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 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 לוווינים, מסלולים והנעה.

חולשות של תעשיית החלל הישראלית

- **לוויני תקשורת** - המדינה לא השקיעה מספיק כדי לפתח את תחום לווויני 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. לווויני התקשורת הישראלים עדיין יקרים יותר בהשוואה לעולם ואין להם יכולת להתחרות (לא במחיר ולא בזמן אספקה). התעשייה האווירית מייצרת לווין תקשורת בודד אחת לכמה שנים (בהשוואה לחברות מקבילות בעולם שיש להם קו מוצר של לווויני 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 לוווינים** - מדינת ישראל נמצאת מאחור בהשוואה לעולם בנושא של שיגור ננו לוווינים. 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 לקוריאיה. **מחסור בתמיכה תקציבית בפעילות מו"פ בתחום החלל.**
- **קושי בגיוס מימון מסחרי** - יש קושי לגייס כספים ממשקיעים ומחברות השקעה כי בתחום החלל ההחזרים מוגבלים וארוכים. בדרך כלל רק עשור אחרי רואים החזר של ההשקעה.
- **תחום התקשורת הלוויינית הוא תחום מתפתח ולישראל יש יתרונות ייחודים** - הממשלה צריכה להשקיע יותר כדי שישראל תוכל להיות שחקן משמעותי יותר.

13.4 הכשרות כוח אדם לעבודה בתחום תקשורת לוווינים

מסקירה שביצענו, הכשרות בתחום תקשורת לוווינים מתבצעות במוסדות הבאים: **הטכניון** – במסגרת לימודי הסמכה ניתן קורס **לוויני תקשורת** שבסיומו הסטודנטים יקבלו כלים להבנה ותכן של לווויני תקשורת. הקורס כולל נושאים כגון: יסודות דינמיקת מסלולים בחלל, יסודות תקשורת דיגיטלית, לוויין התקשורת (שליטה, מטע"ד, בקרת מצב, הנעה, מקורות כוח, מבנה, עיבוד נתונים) ותחנות קרקע (אנטנות, רשתות, מערכת רדיו). שיקולי תכן יודגמו דרך מקרי חקר של לוווינים קיימים ומבנים (להקות) של לוווינים קיימים.

אוניברסיטת בן גוריון – הנדסת מערכות תקשורת (תואר ראשון) – הלימודים במחלקה מקנים לבוגרים הכרות מעמיקה עם מכלול המרכיבים של מערכות תקשורת, בהיבטי תוכנה, חומרה, וטכנולוגיות. תוכנית הלימודים כוללת נושאים נבחרים בהנדסת חשמל, הנדסת מחשבים,

מדעי המחשב והנדסת תעשייה וניהול, וכן נושאים ייחודיים במערכות ורשתות תקשורת. תוכנית הלימודים המגוונת מאפשרת לבוגר המחלקה לבחור להתמקצע בתחומים שונים הנוגעים למערכות תקשורת, על פי העדפותיו, כבר במהלך לימודי התואר הראשון.

המחלקה **להנדסת מערכות תקשורת** מעניקה **תארים מתקדמים: תואר שני (M.Sc.) ותואר שלישי (Ph.D.)** בתחומים מגוונים הנוגעים לרשתות תקשורת. מטרת התוכנית לתארים מתקדמים במחלקה היא קידום המחקר בתחום התקשורת והרשתות

HIT-המכון הטכנולוגי חולון - הנדסת תקשורת - תחום התמחות ראשי בתואר ראשון. תחום זה משלב תחומי ידע נרחבים בתקשורת: תקשורת אנלוגית ודיגיטלית, תקשורת מחשבים, תקשורת סלולרית, תקשורת רדיו, תקשורת אופטית, עיבוד אותות ותמונה, מכ"ם ואנטנות. התחום מתאפיין במבחר גדול של קורסי בחירה עדכניים ומעבדות מתקדמות בתחום, ומקנה לסטודנטים את כול הכלים הדרושים בכדי להיענות לצורכי השוק הקיימים ולהתאים את עצמם גם לאתגרים ולשינויים הצפויים בעתיד.

ניתנים גם קורסים בתחום במסגרת תואר שני לדוגמא: **מערכות תקשורת לוויינים**

13.5 תחומי תואר/ידע בסיסי רלוונטי בתחום החלל – תקשורת לוויינים

העובדים בחברות העוסקות בתקשורת לוויינים הם בעלי הכשרה בסיסית לתואר בתחומי הלימוד הבאים¹⁹³:

- אווירונאוטיקה וחלל
- הנדסת אלקטרוניקה וחשמל
- פיזיקה
- הנדסת מכונות
- הנדסת חומרים
- מדעי המחשב
- בינה מלאכותית
- הנדסת תוכנה
- תקשורת נתונים
- בחברות שעוסקות בתחום האקלים - נדרשת הכשרה בתחומי הסביבה והאקלים.

13.6 צרכי התעשייה להכשרות LLL בתחום תקשורת לוויינים

במסגרת העבודה הנוכחית נשלח שאלון לבחינת צרכי הכשרות LLL בחברות בתחום תקשורת לוויינים (רשימת העונים¹⁹⁴ וסיכום ממצאי השאלון מופיע בנספח לחלק זה). להלן פירוט הצרכים בתחום תקשורת לוויינים: כפי שעלו מהשאלון:

- הנדסה מערכתית (חיבור של לווין ורשתות תקשורת או וידאו דיגיטלי)
- ניסיון בשטח
- אין הכשרה אקדמית שעוסקת בתחומי הליבה של תקשורת הלוויינים.

¹⁹³ הנתונים מבוססים על שאלון שהופץ במסגרת מחקר זה לחברות בתחום תקשורת לוויינים: 1. כגן ברוך - CTO & Co-Founder; 2. שוקרון; 3. Ayecka Communication Systems; 4. זיאק אמסלם - CEO; 5. אלבי אריאל - CEO & Co-Founder Galileo Satellite Navigation

¹⁹⁴ במסגרת המחקר: ג' דפנה, בוכניק ציפי, גלעד ורד, ברזני אלה, רוהה איילת. תחזיות לצורכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי דו"ח סופי – שנה ד' חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2021. נערכו ראיונות עם: פרופ' אבנר קידר - מהנדס ראשי בפרויקט סמסון בטכניון – מכון אשר; מוטי חיימוביץ - מנהל מאגד ג'ניסיס; אבי בלסברגר - מנהל סוכנות החלל הישראלית; עופר גולדהירש מהרשות לחדשנות; מענה לשאלונים התקבל ממוטי חיימוביץ, אבי ברדה - חברת אייכה ואבי גל - חברת גילת;

- רגולציה בתחום תקשורת לוויינים
- הכשרה בנושא של תחומי תדר ITU/FCC
- הכשרה בתחום של GPS
- כלי סימולציה ל Link budget
- חק"ב מערכתיים
- חשיפה לחדשנות ופתרונות טכנולוגיים בתחום
- הכשרה במערכי אנטנות עם תגובות מהירות יותר.
- לחברות העוסקות בחישה מרחוק בתחום האקלים וסביבה יש צורך במומחים בתחומי אקלים וסביבה. כיום נעזרים במומחים מחו"ל בנושאים אלה.
- בנושא מחקר, פיתוח ותכנון מכלולי מיקרוגל בתחומי תדר גבוהים רואים היווצרות של מחסור בכ"א מיומן ומנוסה. האתגר הולך וגדל, נעשה מורכב ודורש פתרונות ואמצעי קליטה ושידור בקצבים גבוהים מאד מעבר למקובל

13.7 מצב קיים – הכשרות LLL בתחום תקשורת לוויינים

במיפוי שערכנו בחלק א' של עבודה זו, לא נמצאו תוכניות הכשרת LLL לתחום תקשורת לוויינים, העונות על הקריטריונים שנקבעו למחקר זה. ההכשרות למהנדסים בחברות בתחום תקשורת לוויינים ניתנות לרוב:

- תוך כדי עבודה
- הכשרה פנימית על ידי קורסים פנימיים או קורסים חיצוניים – דוגמא, הכשרה בתחום ה-GPS מועברת לעובדים בחברה שזה תחום עיסוקה על ידי מנכ"ל החברה. כמו כן, המנכ"ל מעביר את הקורס בחברות אחרות – קורס של 8 ימים, בסיומו יש בחינה. קורס שמוכר לגמול השתלמות.
- שליחת עובדים לכנסים רלבנטיים בחו"ל

13.8 השלמות נדרשות – פער בין הצרכים לקיים

הפער בין הצרכים לקיים כפי שעלו מהשאלון שהופץ במחקר זה: כמו בלא מעט נושאים, האקדמיה בסופו של דבר מספקת כלים להתמודדות מהנדס עם תחום ספציפי כזה או אחר. במרבית המקרים המהנדס מקבל את הידע והניסיון הפרקטי תוך כדי עבודה, כפי שפורט בסעיף הקודם. תחום הלווייניות נמצא במגמת צמיחה ולכן, יש מקום לקורסים ספציפיים בנושא. תחום תקשורת לוויינים כולל בתוכו נושאים משיקים כמו אנרגיה, חומרים, אקלים וסביבה. לדוגמא בתחום האקלים, נדרשת הכשרה בתחום המנגנונים של האקלים, ספציפית בתחום מנגנון-CARBON CREDIT זהו מנגנון מורכב מאוד, שנקבע על ידי הסכמי פריז בתחום האקלים, וחסר ידע משמעותי בתחום בישראל.

13.9 סיכום ומסקנות

באופן כללי, ישנו מחסור ניכר במהנדסים בתחום תקשורת לוויינים מאחר וכמעט ואין הכשרה ייעודית בתחום.

לתחום תקשורת לווייניים נדרשים מהנדסים ממגוון תחומים (אלקטרוניקה, מחשבים, חומרים וכד') עם התמחויות ספציפיות לתחום כגון: הנדסת מערכת, מערכות חומרה, תקשורת ספרתית, תדרי רדיו (RF), הנדסת רכיבים, תוכנה וכד' עם התמחות בתקשורת לוויינים.

קיים מחסור באנשים עם הכשרה בתחומים אלו המוכנים לעבוד בתחום. מהנדסים בתחומי האלקטרוניקה, מחשבים והנדסת מערכת מעדיפים לעסוק בנושאים סייבר, רובוטיקה ML וכד', שהינן אטרקטיביות.

בארץ רוב תחום תקשורת לווייניים למעשה התפתח מפרויקטים צבאיים. אין מדיניות לאומית בתחום זה והסתכלות על התחום היא בעיקר מההיבט הבטחוני-צבאי. אם קיים סיוע, הוא הולך לדברים מאוד ממוקדים.

יש מקום להשקיע בסטרטאפים ובחברות העושות מו"פ בתחום מאחר ובתחום זה יש אפקט חזק של SPILL OVER. כלומר, אם חברה נסגרת, המידע שהיה בחברה הזו, לא הולך לאיבוד, הוא זולג לחברות אחרות.

13.10 נספחים

13.10.1 נספח א' - ניתוח תשובות לשאלון בתחום תקשורת לוויינים

העונים

- כגן ברוך, CTO & Co-Founder - חברת Ayecka Communication Systems
- שוקרון אבי, סמנכ"ל פיתוח – חברת Orbit Communications Systems
- יצחקי תמיר רז, מייסד וסמנכ"ל טכנולוגיות- חברת NSLComm
- ז'אק אמסלם, CEO - חברת Albo Climate
- אלי אריאל, CEO & Co-Founder - חברת Galileo Satellite Navigation

איזה דיסציפלינות אקדמיות נדרשות על מנת לעסוק בתחום תקשורת לוויינים?
מהנדסי אלקטרוניקה, חומרים, מכונות, תקשורת, אווירונאוטיקה וחלל, מדעי המחשב, הנדסת תוכנה, בינה מלאכותית.

מהנדסים שלמדו במסגרת לימודי הנדסה באוניברסיטת אריאל, תל אביב וטכניון.

לחברה שעוסקת בתחום האקלים. נדרשת הכשרה בתחומי הסביבה והאקלים.

מהנדסים בתחום תקשורת ותקשורת לוויינים ממוקדת.

האם ניתנת לעובדי החברה שלך הכשרה בתחומי תקשורת לוויינים (בתוך החברה או הכשרה חיצונית)? במידה וכן איזה הכשרה?

ההכשרה ניתנת תוך כדי עבודה

הכשרה פנימית כקורסים פנימיים

ניתנת הכשרה פנימית וכן השתתפות בקורסים חיצוניים

לא ניתנת הכשרה, אבל שולח עובדים לכנסים רלבנטיים בחו"ל.

לעובדים בחברה מועברת הכשרה ספציפית בתחום העיסוק של החברה -תחום ה-GPS. כמו כן, קורס בתחום הזה מועבר גם בתעשייה האווירית – קורס של 8 ימים, בסיומו יש בחינה. קורס שמוכר לגמול השתלמות.

האם קיימים צורכי הכשרת כוח אדם בתחומי תקשורת לוויינים שאין להם כיום מענה? אנא פרט את ההכשרות הספציפיות הנדרשות?

הנדסה מערכתית (חיבור של לוויין ורשתות תקשורת או וידאו דיגיטלי) וניסיון בשטח

אין הכשרה אקדמית שעוסקת באופן ממוקד בתחום תקשורת לוויינים.

ישנם מספר נושאים שפחות מוכרים כגון רגולציות ותחומי תדר ITU/FCC, כלי סימולציה ל Link budget, כל חק"ב מערכתיים, פתרונות טכנולוגיים ועוד....

תחומי הליבה של תקשורת לוויינית זקוקים לחיזוק משמעותי

מומחים בתחומי אקלים וסביבה. כיום נעזרים במומחים מחו"ל בתחומי אקלים וסביבה.

אין מענה כללי או הכשרה מסודרת בתחום של תקשורת לוויינים ובתחום של GPS גם בטכניון, אין מערכת שנותנת את ההכשרה הנדרשת.

האם צפוי שינוי בהכשרות שיידרשו לכוח האדם בתחום זה בעתיד הקרוב מבחינת כמות ו/או סוג הכשרה והאם נדרשת היערכות/ התאמת ההכשרות לקראת שינויים אלו?

כמו בלא מעט נושאים, האקדמיה בסופו של דבר מספקת כלים להתמודדות מהנדס עם תחום ספציפי כזה או אחר. במרבית המקרים המהנדס מקבל את הידע והניסיון הפרקטי תוך כדי עבודה אולם, לדעתי לא יזיק ובמיוחד לאור המגמות החדשות בתחום הלוויינות שימצא גם מקום לקורסים ספציפיים בנושא

החברה נמצאת במגמת צמיחה, ולכן קיים צפי לגידול בדרישה להכשרות

נדרשת הכשרה בתחום המנגנונים של האקלים, ספציפית בתחום מנגנון- CARBON CREDIT זהו מנגנון מורכב מאוד, שנקבע על ידי הסכמי פריז בתחום האקלים, וחסר ידע משמעותי בתחום בישראל.

זו שאלת הביצה והתרנגולת – אם התעשייה תתפתח, יהיו הכשרות, ואם יהיו הכשרות, אז גם התעשייה תתפתח. בארץ רוב התחום למעשה התפתח מפרויקטים צבאיים. אין ראייה רחבה של משרד המדע, פועלים כמעין שלוחה של רפא"ל, הסתכלות על התחום מההיבט הבטחוני-צבאי וטכנוקרטי. אם קיים סיוע, הוא הולך לדברים מאוד ממוקדים. למשל, אם חברה נסגרת, המידע שהיה בחברה הזו, לא הולך לאיבוד, הוא זולג לחברות אחרות, כך שגם אם ניתן כסף למחקר או פעילות, והפרויקט או החברה נסגרים, עדיין המדינה מקבלת תרומה להשקעה, כי המידע זולג לתחומים נוספים – אפקט ה-Spill Over. גם רשות החדשנות, לא רואה בתחום, כתחום צמיחה פוטנציאלי.

14. סיכום חלק ב'

בחלק זה של העבודה זהו 13 טכנולוגיות/ תחומי ידע מתקדמים ומפציעים מתוך מטרה לבחון את החפיפה בינם ובין תוכניות הכשרה תואמות LLL בטכנולוגיות/ תחומי ידע אלה המתקיימות כיום, ולאתר פערים כדי לעודד את המסגרות הללו ואחרות לתת להם מענה.

הטכנולוגיות ותחומי הידע המתקדמים נבחרו מתוך עבודות שנעשו בשנים האחרונות במוסד שמואל נאמן¹⁹⁵ ומתוך תחומי עדיפות שזוהו בשני דוחות שפורסמו ב-2022^{196,197}:

להלן רשימת הטכנולוגיות ותחומי הידע הנכללים בעבודה הנוכחית:

1. בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה
2. תעשייה 4.0 והנדסה דיגיטלית
3. הדפסה תלת-מימד של חומרים מתקדמים, טכנולוגיות ויישומים
4. ערים חכמות
5. פוטוניקה ופוטוניקה משולבת
6. שילוב רב תחומי ביולוגיה, תוכנה והנדסה לעולם הרפואה (Bio - Convergence)
7. רפואה מדייקת וגנומיקה
8. אגרוטק וחקלאות מדייקת
9. מקורות מזון אלטרנטיביים
10. אגירת אנרגיה
11. הים כמשאב לאומי
12. תעשיית החלל
13. תקשורת לוויינים

עבור כל אחד מהטכנולוגיות ותחומי הידע נעשתה בחינה הכוללת התייחסות למרכיבים הבאים:

- רקע כללי על התחום
- מצב התחום בישראל
- מיפוי חברות בתחום בישראל (מספר החברות, שלב פיתוח, גודל החברות)
- תחומי התואר הרלבנטיים לטכנולוגיה/ תחום הידע בישראל כפי שעלה מראיונות, שאלונים ועבודות קודמות שבוצעו במוסד נאמן.
- המצב הקיים כיום בתוכניות הכשרה תואמות LLL כפי שנמצא במיפוי בשלב א של המחקר הנוכחי.
- צורכי התעשייה להכשרות בתחום וכאלה שיידרשו בעתיד כפי שעלה משאלון שהועבר במסגרת המחקר הנוכחי.
- סיכום והמלצות להשלמת הפערים שנמצאו באמצעות הכשרות במסגרות של לימוד לאורך החיים.

¹⁹⁵ תחזיות לצרכי כח אדם מדעי וטכנולוגיה, ד. ג. צ. בוכניק, ו. גלעד, א. ברזני, א. רוה, מוסד שמואל נאמן בטכניון, דו"ח למולמו"פ, דצמבר 2020

¹⁹⁶ החלטה על תחומי עדיפות לאומית למו"פ אזרחי בישראל, המועצה הלאומית למו"פ, 2022

¹⁹⁷ הצבעה על פוטנציאל טכנולוגיות מפציעות כמצע מודיעיני לתכנון אסטרטגי ולקידום העליונות הטכנולוגית הישראלית, המשדד למודיעין והמשדד לחדשנות, מדע וטכנולוגיה, 2022

הממצאים העיקריים לכל טכנולוגיה /תחום ידע מוצגים בטבלה 16. הטבלה מציגה עבור כל תחום את התארים הרלבנטיים, תוכניות ההכשרה הקיימות לתחום וצורכי התעשייה בהכשרות לתחום.

מהטבלה ניתן לראות שהתארים המרכזיים הרלבנטיים למרבית הטכנולוגיות /תחומי הידע המפציעים הם: הנדסת חשמל / אלקטרוניקה, הנדסת נתונים/ מדעי הנתונים/ בינה מלאכותית, מדעי המחשב, הנדסת תעשייה וניהול ומערכות מידע, הנדסת מכונות, הנדסת אווירונאוטיקה וחלל.

לתחומים מפציעים ספציפיים רלבנטיים תארים נוספים: לשילוב רב תחומי ביולוגיה, תוכנה והנדסה לעולם הרפואה – התארים הרלבנטיים הם: בהנדסה ביו-רפואית וגנטיקה, ביו-אינפורמטיקה, מכניקה, רפואה, מדעי הרפואה ופרמצבטיקה. להדפסת תלת-מימד-רלבנטיים תארים בהנדסת חומרים, הנדסת פלסטיקה, כימיה, הנדסה כימית. לאגרוטק וחקלאות מדייקת והים כמשאב לאומי- רלבנטיים תארים בהנדסת חקלאות, ארגונומיה, הנדסת מים, חקלאות ימית, מדעי בעלי חיים, הנדסת מזון וביוטכנולוגיה, ביולוגיה, מיקרו-ביולוגיה וביולוגיה של התא, כימיה, ביוכימיה וכימיה תהליכית, הנדסה ימית, הנדסת אוניות ולאגירת אנרגיה- רלבנטיים תארים בהנדסת אנרגיה והנדסה אזרחית וסביבתית.

לרוב העוסקים בתחומים אלה מקבלים בתחילת עבודתם הכשרות בתוך החברות (OJT), תוך סיוע של בעלי מקצוע מנוסים יותר והתאמת הלמידה לפרויקטים ולדרישות התפקיד וכן הם נעזרים בהכשרות באמצעות קורסי אונליין.

המצב הקיים בתוכניות הכשרה תואמות LLL:

קיימות מעט מאוד הכשרות תואמות LLL. ל-4 מהתחומים המפציעים (אגרוטק, תעשיית החלל, תקשורת לוויינים ואגירת אנרגיה)- לא נמצאו כלל הכשרות תואמות LLL. לשאר התחומים נמצאו בין 1-5 הכשרות.

- לתחום בינה מלאכותית (5 הכשרות)- 3 שניתנות באוניברסיטת בן-גוריון ו-2 ב- DSP-IP AI.
- לתעשייה 4 (2 הכשרות)- קורס ניהול ייצור מתקדם בבית הספר למצוינות Lean Israel בשיתוף עם התאחדות התעשיינים ו- KPMG והכשרת טכנולוגיות ייצור מתקדם לתעשייה של האקדמיה היישומית להייטק.
- להדפסת תלת מימד (4 הכשרות)- בטכניון, בלשכת המהנדסים, האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל, בשנקר ובסיסטמטיקס.
- לערים חכמות- (קורס אחד)- בתכנון תחבורה ציבורית בבית ספר ללימודי המשך מתקדמים בטכניון.
- בפוטוניקה – (קורס אחד)- בהנדסת מערכות פוטוניות ע"י לשכת המהנדסים האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל.
- בביוקונברג'נס- (2 הכשרות)- אחת בטכניון- בקנאביס רפואי ואחת באוניברסיטה העברית - מבוא לרפואה חישובית
- ברפואה מדייקת וגנומיקה- לימודי המשך מתקדמים ברפואה בבית ספר ללימודי המשך מתקדמים בטכניון.
- במקורות מזון אלטרנטיביים- (הכשרה אחת)- "חדשנות בפודטק ומזון העתיד" בטכניון.
- בים כמשאב לאומי – (2 הכשרות) - קורס חובל משמרת ברשות לחינוך והכשרה ימיים בעכו והתפתחות מקצועית באמצעות IMarEST - במכון לחקר הנדסה ימית.

צרכי התעשייה - צורך בהכשרות LLL

- בכל אחד מהתחומים פורטו ההכשרות הנדרשות בתחום והן מפורטות בדוח ובטבלה 16.
- בהרבה מהתחומים ההכשרות הנדרשות הן כתלות במקצוע היסוד שנלמד. למשל בבינה מלאכותית, לבעלי רקע במדעי המחשב/ הנדסת מחשבים חסרה הכשרה בניהול מאגרי מידע, מודלים מתקדמים, ממשק אדם מחשב ואילו למנתחי נתונים עם רקע במדעי המוח, סטטיסטיקה, חשבונאות, אקטואריה, מנהל עסקים חסרות הכשרות יישומיות במדעי המחשב.
- דוגמא נוספת לתחום האגרוטק בו למהנדסים עם ידע בתחום הטכנולוגי חסר ידע בחקלאות ואילו לבעלי השכלה באגרונומיה צריך להשלים את התחום הטכנולוגי.
- הכשרות תואמות LLL בטכנולוגיות מפציעות שמופו הן מעטות מאוד ולרוב לא תואמות את הצרכים להכשרות בתחום שהועלו מנהלים בתעשייה.
- הכשרות שהועלו כנדרשות ע"י התעשייה במספר תחומים:
 - שפת התכנות פייתון.
 - מערכות ERP מתקדמות
 - עיבוד אותות
 - IoT - אינטרנט של הדברים
 - אלגוריתמיקה
 - איסוף וניתוח נתונים (ביג דאטה) ויישומי AI
 - תכן מבוסס מודלים וסימולציות
 - הכשרות בטכניקות מתקדמות (self-labeling, adversary training) וטכניקות שימוש באימונים כלליים (כמו GPT).
 - תכנון מתקדם באמצעות מחשב (תיב"ם)
 - מערכות QA דיגיטליות
 - רובוטיקה מתקדמת

טבלה 15: סיכום מסקנות וממצאים על פי טכנולוגיות מפציעות

צרכי התעשייה - צורך בהכשרות LLL	מצב קיים בתוכניות הכשרה תואמות LLL	תחום תואר בסיסי רלוונטי	תחום/ טכנולוגיה
<ul style="list-style-type: none"> הכשרות כתלות במקצוע היסוד שנלמד. לבעלי רקע במדעי המחשב/ הנדסת מחשבים חסרה הכשרה בניהול מאגרי מידע, מודלים מתקדמים, ממשק אדם מחשב. למנתחי נתונים עם רקע במדעי המוח, סטטיסטיקה, חשבונאות, אקטואריה, מנהל עסקים חסרות הכשרות יישומיות במדעי המחשב. הסקה בייסאנית והחלטות באי וודאות. הכשרה בטכניקות Deep Learning למיניהן. בעתיד ידרשו הכשרות בטכניקות מתקדמות (self-labeling, adversary training) וטכניקות שימוש באימונים כלליים (כמו GPT). הכשרה לשימוש בכלים ל"rapid prototyping" כמו vertex.ai \ auto.ml \ SageMaker 	<ul style="list-style-type: none"> לרוב הלימוד OJT בחברה, תוך סיוע של בעלי מקצוע מנוסים יותר והתאמת הלמידה לפרויקט ולדרישות התפקיד. נעזרים בהכשרות באמצעות קורסי אונליין coursera, edx ובחברות כמו NVIDIA המציעות מפגשי למידה והתנסות ייעודיים. הכשרות LLL שנמצאו במיפוי: <ol style="list-style-type: none"> 1. באוניברסיטת בן גוריון - (BI&A) בינה ואנליטיקה עסקית. 2. באוניברסיטת בן גוריון - בינה מלאכותית (AI) - טכניקות וכלים יישומיים לפתרון בעיות. 3. באוניברסיטת בן גוריון- ניהול ואפיון מערכות מידע 4. DSP-IP AI - למידה עמוקה מעשית 5. DSP-IP AI - Advance Deep Learning with NVIDIA tools 	<ul style="list-style-type: none"> הנדסת חשמל הנדסת תעשייה וניהול/ מערכות מידע מדעי המחשב הנדסת מכונות הנדסת אווירונאוטיקה וחלל הנדסה אזרחית וסביבתית 	<p>1. בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה</p>
<ul style="list-style-type: none"> הדפסה תעשייתית וטכנולוגיית Selective Laser Sintering - SLS. הכשרות לשיפור אוריינות דיגיטלית של בוגרי הנדסה במקצועות: <ul style="list-style-type: none"> ○ שפות התכנות פייתון ו-C. ○ מערכות ERP מתקדמות 	<p>לתחום מתקיימות הכשרות פנימיות וחיצוניות. הכשרה בנושא בינה מלאכותית – הניתנת באמצעות קורסי אונליין של Coursera והכשרות נוספות. הכשרות LLL שנמצאו במיפוי:</p>	<ul style="list-style-type: none"> הנדסת נתונים/ מדעי הנתונים מדעי החברה- סטטיסטיקה וניתוח נתונים הנדסת תעשייה וניהול ומערכות מידע בינה מלאכותית 	<p>2. תעשייה 4.0 והנדסה דיגיטלית</p>

צרכי התעשייה - צורך בהכשרות LLL	מצב קיים בתוכניות הכשרה תואמות LLL	תחום תואר בסיסי רלוונטי	תחום/ טכנולוגיה
<ul style="list-style-type: none"> ○ עיבוד אותות ○ IoT - אינטרנט של הדברים ○ אלגוריתמיקה ○ איסוף וניתוח נתונים (ביג דאטה) ויישומי AI ○ תכן מבוסס מודלים וסימולציות ○ יישומי AI בהנדסה דיגיטלית, כמו: CHATGPT ○ תכנון מתקדם באמצעות מחשב (תיב"ם) ○ מערכות QA דיגיטליות ○ רובטיקה מתקדמת ○ קורס/מעבדה התנסותית- אינטגרטיבית 	<p>1. קורס ניהול ייצור מתקדם של בית הספר למצוינות של Lean Israel בשיתוף עם התאחדות התעשיינים ו-KPMG.</p> <p>2. הכשרת טכנולוגיות ייצור מתקדם לתעשייה של מונה - האקדמיה היישומית להייטק.</p>		
<p>קיים מחסור של כוח אדם מקצועי (מהנדסים והנדסאים) בתחום. נדרש כוח אדם מיומן בתחומי פיתוח ויישום חומרים להדפסת תלת מימד, לתכנון מוצרים ותהליכים לייצור בתלת מימד ולתפעול ותחזוקת ציוד הייצור בתחום. ישנו מחסור בכוח אדם שמכיר היטב את התהליכים, את מגבלותיהם, ואת תהליך הפיכתם למוצרים.</p> <p>תחומי השלמות נדרשים: עיצוב, הנדסת חומרים, אנליזת חוזק בעיצוב תעשייתי, אנליזת זרימה, ניהול מוצר, אוריינות דיגיטלית, אבטחת איכות.</p> <ul style="list-style-type: none"> • הכרה מעמיקה של הטכנולוגיות וכלי התכנון. 	<p>כיום, רוב ההכשרה הנדרשת לתחום מתבצעת בחברות - On-the-job training.</p> <p>הכשרות LLL שנמצאו במיפוי:</p> <p>1. בטכניון - דיגיטליזציה והדפסת תלת מימד.</p> <p>2. בלשכת המהנדסים, האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל - סדנת חידושים ויישומים בהדפסת תלת מימד של מתכות.</p> <p>3. שנקר לימודי חוץ ולימודי המשך - דיגום דיגיטלי והדפסת תלת-מימד.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • הנדסת תוכנה • הנדסת חומרים • הנדסת פלסטיקה • הנדסת אלקטרוניקה • הנדסת מכונות • כימיה • הנדסה כימית עם דגש על הכשרה בנושא פולימרים • פיזיקה- מומחים לפיתוח חומרים • הנדסת אווירונאוטיקה • הנדסה אזרחית 	<p>3. הדפסת תלת-מימד של חומרים מתקדמים, טכנולוגיות ויישומים</p>

צרכי התעשייה - צורך בהכשרות LLL	מצב קיים בתוכניות הכשרה תואמות LLL	תחום תואר בסיסי רלוונטי	תחום/ טכנולוגיה
<ul style="list-style-type: none"> • התמחות בתהליכי הדפסה מתקדמים, טכנולוגיות הדפסה חדשות. • תכנון נכון של חלקים, תכן וייצור בעזרת מחשב (תיב"ם), תכן ג'נרטיבי. • הבנה במטלורגיה ובעבודה בטמפרטורות גבוהות • עיצוב בתלת מימד ממשק משתמש, עיצוב פולימרים. • הכשרה יסודית בהבנת תהליכי הייצור, מגבלותיהם ותהליכי עיבוד משלים. • הכשרה בפיתוח, יצור ותפעול: חומרים, מכונות, תוכנה. תכנון, מידול, תכן לייצור • פיתוח חומרים מתכתיים וקרמיים ייחודיים. הדפסת חלקים במדפסות להדפסת חומרי גלם פלסטיים ולימוד של סוגי המדפסות הקיימות. 	<p>4. סיסטמטיקס - קורס להדפסה בתלת מימד.</p>		
<p>קיים צורך באנשים שמצד אחד יש להם חשיבה אסטרטגית עירונית ומצד שני את הידע עם המגוון של הטכנולוגיות המתאימות לעיר חכמה.</p> <ul style="list-style-type: none"> • נדרשת הכשרה בעיקר בתחום הבקרה בהיבט של תשתיות עירוניות, משמעויות סייבר בהקשר הזה וכו'. • הכשרת בדאטה: איך מייצרים תובנות עבור ערים חכמות מתוך הדאטה ללקוח הקצה. איך מנגישים את המידע ללקוח. • חסר מידע והכשרה בנושא עבודה מול עיריות. • GIS – GEO INFORMATION- • תחום ה- DEEP LEARNING בהקשר של עיר חכמה. 	<p>במיפוי נמצאה הכשרת תואמת LLL אחת לתחום: קורס תכנון תחבורה ציבורית בבית ספר ללימודי המשך מתקדמים בטכניון.</p> <p>הכשרות הניתנות במקומות עבודה שונים בנושאי ערים חכמות:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ההכשרה בחברה בהתאם לחידושים הטכנולוגים בנושא. • הכשרה ייעודית בתחום לעובדים שעשו הסבה לתחום במסגרת BOOTH CAMP במשך חודשיים- 	<ul style="list-style-type: none"> • הנדסת חשמל • הנדסת בקרה • הנדסת תוכנה • הנדסת תנועה • הנדסה אזרחית מומחיות בגיאוגרפיה • מדעי המחשב • הנדסת תעשייה וניהול • מתכנתים מפתחי FULL STACK • מתמטיקה שימושית • ארכיטקטורה • הנדסה אזרחית • הנדסת מערכות 	<p>4. ערים חכמות</p>

צרכי התעשייה - צורך בהכשרות LLL	מצב קיים בתוכניות הכשרה תואמות LLL	תחום תואר בסיסי רלוונטי	תחום/ טכנולוגיה
<ul style="list-style-type: none"> • בינה מלאכותית, סנסורים, Big Data, AI, IOT • סקירה כללית עדכנית בתחום מבחינה טכנולוגית ועסקית. 	<ul style="list-style-type: none"> • שלושה ועוד חודשיים התמחות כשמגיעים לעבוד. • הכשרה חיצונית על ידי חברת סלע בפיתוח. 	<p>רוב התחומים הם תחומי יסוד ונדרשת השתלמות והכשרה נוספת לצרכים של עבודה בעיר חכמה.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • במעטפת של הרכיבים קיים מחסור במהנדסי פתרון. ההכשרה היא הנדסת תהליך בעולמות של רכיבים אופטיים. • לאריזת הרכיב ומימושו כפתרון או כמערכת, נדרשים מהנדסי מערכות עם התמחות ברמת הרכיב. • חסרים מתכננים אופטיים. הנדסאים / טכנאי אלקטרו-אופטיקה. • חסרים מתכנני אופטומכניקה • חסרים מכשירני פיתוח • חסרים מהנדסי איכות למערכות מורכבות. <p>יש צורך בהכשרת כוח האדם הקיים בנושאים מתקדמים:</p> <ul style="list-style-type: none"> • הכשרת מהנדסים כמהנדסי מערכת לתחום האלקטרואופטיקה- נדרשת הכשרה בסיסית להנדסת מערכת ו/או הכשרה משמעותית יותר לממשק עם דיסציפלינות אחרות. • הכשרה בסיסית לדיסציפלינות "שכנות" בתחומי האלקטרואופטיקה. למשל, למהנדסי מכונות הכרות עם הנדסת חומרים והנדסת אופטיקה, למהנדסי אלקט' הכרות עם שיקולי חום, למהנדסי תוכנה הכשרה בתשתית העיבוד (אלקט') וכו'. הייחודיות 	<ul style="list-style-type: none"> • בדרך כלל ההכשרות הן שילוב של הדרכות הניתנות ע"י מומחי תוכן ומוקדי ידע בתוך החברה ושל הדרכות חיצוניות. בחברות בינוניות וקטנות בעיקר OJT. • אין מקורות הכשרה זמינים בשוק. מדי פעם צצות יוזמות פרטיות שמציעות קורסים. <p>במיפוי שערכנו בחלק א' של עבודה זו נמצאה הכשרת LLL אחת לתחום הפוטוניקה, שעונה על הקריטריונים שנקבעו למחקר זה:</p> <ul style="list-style-type: none"> • קורס הנדסת מערכות פוטוניות שניתן ע"י לשכת המהנדסים האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל. הקורס מועבר על ידי מומחי חברת "אלביט מערכות אלאופ" ובתמיכת איגוד פוטוניקס ישראל בלשכת המהנדסים. 	<ul style="list-style-type: none"> • פיזיקה • הנדסת חשמל <p>המסלול שמשלב פיזיקה והנדסת חשמל במוסדות האקדמיים נותן את הבסיס לתחום. לרוב הסטודנטים לפיזיקה לא נחשפים לנושאי הפוטוניקה. לכל נושאי המו"פ בפוטוניקה נדרשת הכשרה אקדמית, הניתנת רק בתארים המתקדמים.</p>	<p>5. פוטוניקה ופוטוניקה משולבת</p>

צרכי התעשייה - צורך בהכשרות LLL	מצב קיים בתוכניות הכשרה תואמות LLL	תחום תואר בסיסי רלוונטי	תחום/ טכנולוגיה
<p>של הדיסציפלינה המקצועית למשל: אלקטרוניקה של לייזרים, מכניקה של מצלמות חלל, דבקים אלקטרואופטיים וכו'.</p> <ul style="list-style-type: none"> • הכשרה לכ"א שעוסק בייצור / אינטגרציה / בדיקות של מערכת אלקטרו-אופטיות. • תכן CMOS image sensor technology בראיה מערכתית. • פוטוניקה לתחום הרכב (אילוצי תקנים ומגבלות מחיר) • VCSEL – תכן למקור אור • ידע בתכן מערכות אופטיות, שיקולי מערכת בתכנון ורטיקלי של מערכות. <p>ההכשרות ביסודות האלקטרואופטיקה וכדו' מיועדות בעיקר למהנדסים צעירים או לכאלה שנדרשים לעשות הסבה מתוך התחום (למשל מלייזרים למערכות ראיית לילה). בנוסף יש צורך בהכשרות למהנדסים ומנוסים.</p>			
<p>ההכשרה הקיימת כיום לתחום הינה חסרה מאוד ביחס לצרכים. צפוי שיכנסו כלים חישוביים מתקדמים ורובוטיקה לעולם הביולוגיה, דבר שידרוש הכשרה חדשנות בתחומים אלו.</p> <p>צריך לחזק מאוד את הרקע הטכני של אנשים שמגיעים מהצד של מדעי החיים\רפואה, כדי שיבואו פתוחים ומכירים יותר את העולמות של ביו-אינפורמטיקה, מדעי המחשב, גנטיקה</p> <p>תחומי השלמות נדרשים:</p>	<p>כיום, רוב ההכשרה הנדרשת לתחום מתבצעת בחברות – On-the-job training.</p> <p>במיפוי שערכנו בחלק א' של עבודה זו נמצאו 2 הכשרות LLL הבאות שעונות על הקריטריונים שנקבעו למחקר:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • הנדסה ביו-רפואית • ביולוגיה • ביו-אינפורמטיקה • גנטיקה • מכניקה • מדעי המחשב • הנדסת אלקטרוניקה • בקרה 	<p>6. שילוב רב תחומי ביולוגיה, תוכנה והנדסה לעולם הרפואה</p>

צרכי התעשייה - צורך בהכשרות LLL	מצב קיים בתוכניות הכשרה תואמות LLL	תחום תואר בסיסי רלוונטי	תחום/ טכנולוגיה
<ul style="list-style-type: none"> • הכשרה בכלים מתמטיים חישוביים ברמה גבוהה • רובטיקה לעולם הביולוגיה • רובטיקה רפואית • שילוב של טכנולוגיה, בפרט רובטיקה בביצוע ותכנון ניסויים, • רקע פיזיקאלי או בהנדסת חשמל, עם ראייה מולטי-דיסציפלינרית • רקע חזק באלקטרופיזיולוגיה • חיזוק הרקע הטכני של אנשים שמגיעים מהצד של מדעי החיים\רפואה, כדי שיכירו את העולמות של ביו-אינפורמטיקה, מדעי המחשב, גנטיקה וביולוגיה. 	<ul style="list-style-type: none"> • טכניון- קנאביס רפואי - יזמות טכנולוגית ועסקית, השלכות רפואיות ושיטות גידול • האוניברסיטה העברית - מבוא לרפואה חישובית 	<ul style="list-style-type: none"> • הכשרות נוספות זה רקע באנטומיה (הדרכות, השתתפות בניתוחים). 	
<ul style="list-style-type: none"> • נדרשת הכשרה ברב תחומיות. העתיד הולך לכיוון של אינטגרציה ולכן ההכשרות צריכות לעסוק בהיבטים בין תחומיים ובכללם ניהול, יחסי אנוש, מחשוב, כלי בינה מלאכותית והגנות סייבר. חסרים אנשים שיש להם ידע גם במדעי החיים וגם חשיבה כמותית. • קיים מחסור באנשי ביו-אינפורמטיקה למחקר וניתוח נתונים רפואיים. • התחום מתבסס במידה רבה על ניתוח נתוני עתק רפואיים (ביג-דאטה). וחסר לרופאים המטפלים כיום ידע כיצד להשתמש במידע רפואי שכבר קיים בתחום. • יישומי AI ברפואה, בריאות וגנומיקה • תהליכי מסחור ופיתוח עסקי. 	<ul style="list-style-type: none"> • לימודי המשך מתקדמים ברפואה מתקיימים בבית ספר ללימודי המשך מתקדמים בטכניון. הקורסים מגוונים וההכשרות נעות בין 120-20 שעות. מטרת הלימודים להשבחת הידע הרפואי וחשיפת הרופא המתמחה והמומחה לחידושים ועדכונים. 	<ul style="list-style-type: none"> • הנדסה ומדעי המחשב • רפואה, מדעי הרפואה • הנדסה ביו-רפואית, גנטיקה • ביולוגיה, ביוטכנולוגיה • הנדסת פרמצבטיקה – תרופות • גנומיקה וביואינפורמטיקה • הנדסת חשמל • פסיכולוגיה קוגניטיבית. • כוח האדם הנדרש לתחום רפואה מותאמת אישית הוא מולטי-דיסציפלינרי וכולל מגוון מקצועות: ביולוגים, רופאים, אנשי מחשבים, ובתוך כל אלה תתי התמחויות. הנדסה ומדעי המחשב, רפואה, מדעי הרפואה, הנדסה ביו-רפואית, גנטיקה, ביולוגיה, ביוטכנולוגיה, פרמצבטיקה, 	<p>7. רפואה מדיקת וגנומיקה</p>

צרכי התעשייה - צורך בהכשרות LLL	מצב קיים בתוכניות הכשרה תואמות LLL	תחום תואר בסיסי רלוונטי	תחום/ טכנולוגיה
		גנומיקה, פרוטאומיקה, ביואינפורמטיקה, ביג-דאטה וסטטיסטיקה, חישוביות.	
<p>ההכשרות הנדרשות בתחום האגרוטק הן לרוב לשתי קבוצות או למהנדסים עם ידע בתחום הטכנולוגי שחסר להם ידע בחקלאות או בעלי השכלה באגרונומיה שצריך להשלים להם את התחום הטכנולוגי. בחברות זה ניכר בצורה בולטת כאשר מנסים לפתח משהו חדשני, אבל הידע הוא אגרונומי בלבד וחסר ידע טכנולוגי.</p> <p>היות שאין בנמצא כיום הכשרות LLL בתחום, יש צורך בבניית תוכניות הכשרת LLL בכל הנושאים שעלו:</p> <ul style="list-style-type: none"> הכשרה אנטמולוגית ממוקדת בתחום החרקים המועילים. תוכניות לימוד בנושא ביוטכנולוגיה ימית. הכשרות בנושאי: מיכון תהליכים, אוטומציה, בינה מלאכותית, שליטה ובקרה מרחוק ושימושיהם באגרוטק וחקלאות מדייקת. הכשרות בטכנולוגיות החקלאיות: <ol style="list-style-type: none"> תהליכי ושיטות האבסה של בעלי חיים בתחום הווטרינרי. תהליכים ושיטות חיסון עדרים, עופות ודגים. תהליכי גידול צמחים כולל השקיה. בקרת מחלות, קטיף, גיזום, בקרת חממות, שיטות גידול, תהליכי ריסוס, הזנה לצמחיה כמו למיכון חקלאי וניטור צמחים וכד' 	<p>לא נמצאו תוכניות הכשרת בגישת LLL לתחום אגרוטק וחקלאות מדייקת</p>	<ul style="list-style-type: none"> מהנדסי מכונות מהנדסי חקלאות ארגונומיה מהנדסי מים חקלאות ימית תואר שני ושלישי בהנדסה כימית תואר ראשון בכיולוגיה תואר ראשון ושני מדעי בעלי חיים תואר שני במדעי בעלי חיים ימיים תואר שלישי בזואולוגיה מהנדסי חשמל הנדסאי תוכנה וחשמל 	<p>8. אגרוטק וחקלאות מדייקת</p>

צרכי התעשייה - צורך בהכשרות LLL	מצב קיים בתוכניות הכשרה תואמות LLL	תחום תואר בסיסי רלוונטי	תחום/ טכנולוגיה
<ul style="list-style-type: none"> הכשרה במדעים מדויקים ובמדעי הנתונים ובינה מלאכותית. הכשרה בתהליכים כלכליים וחברתיים ובניהול פרויקטים. 			
<p>תעשיית הפודטק בכלל ותעשיית החלבונים האלטרנטיביים בפרט הולכת לצמוח באופן משמעותי בשנים הקרובות ולכן יידרש כ"א עם הכשרה בתחומי הנדסת מזון, ביוטכנולוגיה, חקלאות, ביולוגיה, כימיה, מכונות ו עם הכשרה בתחומי מקורות מזון אלטרנטיביים</p> <p>קיים קושי בגיוס כ"א עם הכשרה מתאימה וניסיון רלוונטי. מאחר שהתחום חדשני, מספר החוקרים שלמדו או חקרו אותו עדיין קטן. נדרשות ההכשרות הבאות:</p> <ul style="list-style-type: none"> ידע בעולמות הגידול (חקלאות, קרקע, אנטומולוגיה) וגם בדרכים להפוך את הגידולים הללו למזון דבר שידרוש אנשי הנדסת מזון שיכולים לתרום לתחומי הייצור, התזונה, הבטיחות וכד. יכולות בתחום ה bigdata. מחסור בחוקרים בתחום החלבונים האלטרנטיביים עם דגש על מחסור בחוקרים בתחום הבשר מהצומח. הנושאים שחסרים הם בנושאי החלבונים האלטרנטיביים התחום חולש על שלוש תחומי טכנולוגיה מרכזיים (בשר מתורבת, פרמנטציה ומזון מן הצומח) ובתחום "פיתוח מקורות חלבון מחרקים". 	<p>בפברואר 2023 נפתחה בטכניון תוכנית בנושא "חדשנות בפודטק ומזון העתיד". מטרת התוכנית להעניק לאקדמאים ולעובדי סקטור המזון את הידע והניסיון לקידום הפרודוקטיביות, היצירתיות והתחרותיות של חברות מבוססות וחברות הזנק בתחום המזון.</p>	<ul style="list-style-type: none"> הנדסת מזון וביוטכנולוגיה חקלאות ביולוגיה, מיקרו-ביולוגיה וביולוגיה של התא כימיה, ביוכימיה וכימיה תהליכית הנדסת מכונת 	<p>9. מקורות מזון אלטרנטיביים</p>

צרכי התעשייה - צורך בהכשרות LLL	מצב קיים בתוכניות הכשרה תואמות LLL	תחום תואר בסיסי רלוונטי	תחום/ טכנולוגיה
<ul style="list-style-type: none"> • מחסור בחוקרים בתחום החלבונים האלטרנטיביים, פרוטאינים ואפיון תכונות. עם דגש על חוקרים בתחום הכשר מהצומח, פרמנטציה • "פיתוח מקורות חלבון מחרקים" 			
<p>לכל טכנולוגיה או דיסציפלינה של אגירת אנרגיה דרושה הכשרה שונה:</p> <ul style="list-style-type: none"> • בנושא הנדסת מכונות דרושה הכשרה במכונות סובבות במהירות גבוהה. • בנושאי אלקטרוניקה נדרשת הכשרה בהמרת אנרגיה; תכן מנועים חשמליים, מיקוד בתחומי אנרגיה, בקרה, זרימה מעבר חום ומסה; הכשרה בתחום הסוללות – אלקטרוכימיה. • תחום מרכזי שעלה הוא הכשרות בכל תחומי הסוללות (תאי סוללות, סוללות Li-ion) • הנדסת מערכת (שילוב הטכנולוגיה במערכות קיימות). • התאמת טכנולוגיה לאפליקציה • חישוב עלויות אגירה תוך הכללת CAPEX OPEX • מבנה מערכת - מכולות או בניה באתר • סוגי איבוד האנרגיה במערכת • השפעת טמפ' עבודה למיקום גיאוגרפי • שימושי AI בתחומי אגירת אנרגיה <p>לתחום אגירת אנרגיה יהיה צורך בפעילות מקיפה על מנת לאתר נושאים נוספים ולבחון את ההתכנות לקיום תוכניות בנושאים אלה.</p>	<p>לא נמצאו תוכניות הכשרה בגישות LLL לתחום אגירת אנרגיה, העונות על הקריטריונים שנקבעו למחקר זה.</p>	<p>הנדסת חשמל ואלקטרוניקה</p> <ul style="list-style-type: none"> - הנדסה כימית - כימיה - הנדסת מכונות <p>בתחומים מסוימים נדרש גם:</p> <ul style="list-style-type: none"> - מדעי המחשב - הנדסת מחשבים - ננוטכנולוגיה - והנדסת חומרים (פולימרים). <p>זה תחום חדש יחסית בעולם שכולל טכנולוגיות שונות שמרבית האוניברסיטאות והמכללות להנדסה עדיין לא כוללות בתוכנית הלמודים.</p>	<p>10. אגירת אנרגיה</p>

צרכי התעשייה - צורך בהכשרות LLL	מצב קיים בתוכניות הכשרה תואמות LLL	תחום תואר בסיסי רלוונטי	תחום/ טכנולוגיה
<ul style="list-style-type: none"> • הכשרה בתחום של שליטה ובקרה – הנדסת מכונות, חשמל, תוכנה הנדסת אווירונאוטיקה ותעשייה וניהול. • לא מושם מספיק דגש על נושא בעלי החיים (קיימת התמקדות בעיקר על ענף הבקר והרבה פחות על ענף המדגה). ממליץ שתהיה התמקדות רחבה יותר תחום המדגה. • בים רוב החומרים אינרטים, יותר מידע בפלסטיק למינו, וחומרים לטיפול בקורוזיה • תרמו-דינמיקה וזרימה • שיטות בנייה ימיות • שיטות להתקנת מבנים תת-מימיים • שרשרת האספקה הימית בדגש על ספנות ונמלים • כלכלת הפחמן - אספקטים ימיים • מתקנים ימיים • ארכיטקטורת אוניות (הנדסה אזרחית) • שימושי AI במדעי הים ובהנדסה ימית • מקצועות הימאות (הכשרת קציני ים) 	<ul style="list-style-type: none"> • במיפוי שערכנו בחלק א' של עבודה זו נמצאו 2 הכשרת LLL הבאות שעונות על הקריטריונים שנקבעו למחקר: • קורס חובל משמרת - מסלול ההכשרה בהרשות לחינוך והכשרה ימיים בעכו. אינו מחייב תואר אקדמי אך מאפשר מסלול אקדמי • המכון לחקר הנדסה ימית - התפתחות מקצועית באמצעות IMarEST - תוכניות פיתוח הכשרה מוכרות וקורסי הכשרה כדי להבטיח המשכיות של כישרונות חדשים לתחום ההכשרה הימית 	<ul style="list-style-type: none"> • הנדסת אנרגיה (בדגש ימית ומתחדשת) • הנדסה ימית • מדעי הנתונים • מדעי הסביבה הימית (פיסיקה, כימיה, ביולוגיה, אקולוגיה) • הנדסת אווירונאוטיקה • הנדסת תכנה • הנדסת מכונות • הנדסת אוניות • מהנדס אווירונאוטיקה • אדריכל ימי • תעשייה וניהול • כלכלה ומנהל עסקים • הנדסת חומרים (בים רוב החומרים אינרטים, יותר מידע בפלסטיק למינו, וחומרים לטיפול בקורוזיה) <p>נושא "הים כמשאב לאומי" הוא כל כך רחב שאין הגיון בללמד אותו כנושא ליבה. אלא ברמת תואר שני ומחקר ובהיבטים מסוימים.</p>	<p>11. הים כמשאב לאומי</p>
<ul style="list-style-type: none"> • קורסים במתודולוגיה לכתיבת תוכנה לחלל או למערכות עם צורך לאמינות גבוהה. • קורסים בחישוב סטטיסטיקת אמינות מערכת למערכת מורכבות • הנדסת מערכות מרובות וחישובי אמינות 	<ul style="list-style-type: none"> • לא נמצאו הכשרות בתחום החלל שעונה על הקריטריונים שנקבעו למחקר זה. • מתקיימות הדרכות פנימיות בחברות בנושא השפעות של תופעות 	<ul style="list-style-type: none"> • פיסיקה • הנדסת חשמל ואלקטרוניקה • מדעי המחשב • הנדסת מכונות <p>(mechanical and thermal)</p>	<p>12. תעשיית החלל</p>

צרכי התעשייה - צורך בהכשרות LLL	מצב קיים בתוכניות הכשרה תואמות LLL	תחום תואר בסיסי רלוונטי	תחום/ טכנולוגיה
<ul style="list-style-type: none"> הכשרה באוניברסיטת החלל הבינלאומית (תכנית לימודים מלאה או הכשרה למנהלים). יישומי AI במדעי והנדסות חלל חישה מרחוק בקרה 	<ul style="list-style-type: none"> פיזיקליות בחלל על מעגלים אלקטרוניים ומשמעותם לחומרה ולתוכנה ותיקוני הדרישות לחלל והשפעתם על תכנון מערכת. חברות שחפצות בפיתוח העובדים שולחות אותם לאוניברסיטת החלל הבינלאומית, בין אם לתוכנית הלימודים המלאה או לקורס המנהלים. שניהם ייחודיים בעולם בפיתוח כ"א. 	<ul style="list-style-type: none"> אווירונאוטיקה הנדסת חומרים הנדסת כימיה כימיה 	
<ul style="list-style-type: none"> הנדסה מערכתית (חיבור של לווין ורשתות תקשורת או וידאו דיגיטלי) רכישת ניסיון בשטח הכשרה אקדמית שעוסקת בתחומי הליבה של תקשורת הלוויינים. רגולציה בתחום תקשורת לוויינים הכשרה בנושא של תחומי תדר ITU/FCC הכשרה בתחום של GPS כלי סימולציה ל Link budget חשיפה לחדשנות ופתרונות טכנולוגיים בתחום יישומי AI בתחומי תקשורת לוויינים הכשרה במערכי אנטנות עם תגובות מהירות לחברות העוסקות בחישה מרחוק בתחום האקלים וסביבה יש צורך במומחים בתחומי אקלים וסביבה. כיום נעזרים במומחים מחו"ל בנושאים אלה. 	<ul style="list-style-type: none"> לא נמצאו הכשרות LLL לתחום תקשורת לווייניים, העונות על הקריטריונים שנקבעו למחקר זה. ההכשרות למהנדסים בחברות בתחום תקשורת לוויינים ניתנות לרוב באמצעות קורסים פנימיים או קורסים חיצוניים – דוגמא, הכשרה בתחום ה-GPS מועברת לעובדים בחברה שזה תחום עיסוקה על ידי מנכ"ל החברה. כמו כן, המנכ"ל מעביר את הקורס בחברות אחרות – קורס של 8 ימים, בסיומו יש בחינה. קורס שמוכר לגמול השתלמות או שליחת עובדים לכנסים רלבנטיים בחו"ל 	<ul style="list-style-type: none"> אווירונאוטיקה וחלל הנדסת אלקטרוניקה וחשמל פיזיקה הנדסת מכונות הנדסת חומרים מדעי המחשב בינה מלאכותית הנדסת תוכנה תקשורת נתונים חברות שעוסקות בתחום האקלים - נדרשת הכשרה בתחומי הסביבה והאקלים. 	<p>13. תקשורת לוויינים</p>

צרכי התעשייה - צורך בהכשרות LLL	מצב קיים בתוכניות הכשרה תואמות LLL	תחום תואר בסיסי רלוונטי	תחום/ טכנולוגיה
<ul style="list-style-type: none"> • בנושא מחקר, פיתוח ותכנון מכלולי מיקרוגל בתחומי תדר גבוהים יש מחסור בכ"א מיומן ומנוסה. האתגר הולך וגדל, נעשה מורכב ודורש פתרונות ואמצעי קליטה ושידור בקצבים גבוהים מאד מעבר למקובל • תחום תקשורת לווייניים כולל בתוכו נושאים משיקים כמו אנרגיה, חומרים, אקלים וסביבה. בתחום האקלים, נדרשת הכשרה במנגנוני אקלים. 			

15. סיכום, מסקנות והמלצות כולל

העבודה שלהלן התבצעה במסגרת מרכז של המולמו"פ בנושא "השחקנים והצרכים של לימוד לאורך החיים בישראל (L.L.L- Lifelong Learning). העבודה כללה שני חלקים: חלק א' - מיפוי וניתוח תוכניות לימוד לאורך החיים המוצעות כיום וחלק ב' - מיפוי של צרכי LLL ב-13 טכנולוגיות/ תחומי ידע מפציעים.

חלק א' - ניתוח מאגר תוכניות LLL שנבנה במסגרת עבודה זו על ידי מיפוי הגופים המרכזיים בישראל המפעילים תוכניות ללימוד לאורך החיים לאקדמאים בתחומי ה-STEM.

נמצאו 132 תוכניות LLL במוסדות ובארגונים השונים, העונות לקריטריונים שנקבעו למחקר (קהל היעד הם בוגרי תואר ראשון ומעלה, לבוגרים מוענקת תעודה/אישור על ההכשרה וההרשמה לתוכנית פתוחה גם למועמדים מחוץ לארגון ומפורסמת במקורות גלויים). 43% מהתוכניות ניתנים במסגרות מוסדות להשכלה גבוהה, 34% באוניברסיטאות ו-8% במכללות האקדמיות. 57% במכללות פרטיות, ארגונים או חברות. הגופים המובילים במספר ההכשרות הם: טכניון (15); CivilEng Academy (15); לשכת המהנדסים האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל (10); אוניברסיטת בן-גוריון (8) ואוניברסיטת תל אביב (8). תחומי ההכשרות מגוונים רובן בתחומי התוכנה, Data Science/Analysis, ניהול, מחשבים והייטק. מרבית תוכניות ה-LLL שמופו (58%) מיועדות לשיפור (upskilling) של מיומנויות העובדים בתחומם ורק מיעוטן 13% להסבה מקצועית (reskilling).

37% מתוכניות ה-LLL שמופו הן תוכניות קצרות, בהיקף של עד 50 שעות לימוד. בארגונים וחברות 64% מהתוכניות הן בהיקף זה לעומת האוניברסיטאות שבהן 80% מהתוכניות ארוכות יותר. ככל המוסדות והארגונים שנסקרו סגל ההוראה ברובו מהתעשייה. ככל הקורסים ניתנת תעודה המעידה על סיום התוכנית/הקורס מטעם האוניברסיטה/ המכללה/ הארגון שבו נלמד הקורס.

היקף מספר המשתתפים בתוכניות אינו גבוה¹⁹⁸ והוא עומד (ללא רפואה) על 6,189. מספר המשתתפים בתוכניות LLL במכללות הפרטיות הוא הגבוה ביותר. בין האוניברסיטאות הטכניון מוביל הן במספר התוכניות והן במספר המשתתפים בתוכניות.

בנוסף עלה הצורך בהכשרות של מיומנויות רכות (עבודת הצוות, ניהול הזמן, פתרון בעיות ובתקשורת הבין אישית), בהכשרה לבני +45 ובכניית תוכניות LLL לאורך ציר זמן שיכללו התייחסות לרב תחומיות.

חלק ב' - אפיון צרכים לתחומי ידע חדשים להשלמה במנגנונים של לימוד לאורך החיים
זוהו 13 טכנולוגיות/ תחומי ידע מתקדמים ומפציעים במטרה לבחון את החפיפה בין צרכי התעשייה להכשרה בתחומים אלה ובין תוכניות הכשרה תואמות LLL המתקיימות כיום, ולאחר פערים כדי לעודד את המסגרות הקיימות ואחרות לתת להם מענה.

¹⁹⁸ הערכה של היקף מספר המשתתפים מתבסס על שליש מ-132 התוכניות שנסקרו. לימודי הרפואה הוחררו מהערכה הכללית מאחר ונראה כי בתחומי הרפואה קיימות תוכניות הכשרה וכן הענות להן.

הטכנולוגיות ותחומי הידע שנכללו בעבודה: 1. בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה; 2. תעשייה 4.0 והנדסה דיגיטלית; 3. הדפסה תלת-מימד של חומרים מתקדמים, טכנולוגיות ויישומים; 4. ערים חכמות; 5. פוטוניקה ופוטוניקה משולבת; 6. שילוב רב תחומי ביולוגיה, תוכנה והנדסה לעולם הרפואה (Bio- Convergence); 7. רפואה מדייקת וגנומיקה; 8. אגרוטק וחקלאות מדייקת; 9. מקורות מזון אלטרנטיביים; 10. אגירת אנרגיה; 11. הים כמשאב לאומי; 12. תעשיית החלל; 13. תקשורת לוויינים.

מחלק זה בעבודה עולה שלרוב, הפקולטות שבהן למדו העובדים המגיעים לעסוק בטכנולוגיות ובתחומי הידע המפציעים, לא נותנות הכשרה מספקת, אם בכלל, לתחומי הידע המפציעים, ולכן נדרשת הכשרה של העובדים במקומות העבודה. עיקר ההכשרות מתקיימות בתוך החברות עצמן (OJT), תוך סיוע של בעלי מקצוע מנוסים והתאמת הלמידה לפרויקטים ולדרישות התפקיד. בנוסף, הם נעזרים בהכשרות באמצעות קורסי אונליין.

המיפוי שערכנו בחלק א' של העבודה העלה שקיימות מעט מאוד הכשרות תואמות LLL לטכנולוגיות /תחומי הידע המפציעים. ל-4 מתוך 13 התחומים (אגרוטק, תעשיית החלל, תקשורת לוויינים ואגירת אנרגיה) - לא נמצאו כלל הכשרות תואמות LLL. לכל אחת מייתר 9 הטכנולוגיות/ תחומי הידע, נמצאו בין 1-5 הכשרות תואמות LLL.

בית הספר ללימודי המשך בטכניון הינו הגוף שמבצע את מספר ההכשרות הרב ביותר לטכנולוגיות מפציעות. מתקיימות בו הכשרות לביו-קונברג'נס, רפואה מדייקת וגנומיקה, מקורות מזון אלטרנטיביים, הדפסת תלת מימד וערים חכמות. שני מוסדות אקדמיים נוספים שמקיימים הכשרות תואמות LLL לטכנולוגיות מפציעות הם אוניברסיטת בן גוריון לבינה מלאכותית והאוניברסיטה העברית לביו-קונברג'נס.

גופים נוספים שמקיימים הכשרות בודדות הם: DSP-IP AI לבינה מלאכותית, בית הספר למצוינות Lean Israel בשיתוף התאחדות התעשיינים והאקדמיה היישומית להייטק - לתעשייה 4.0. לשכת המהנדסים, האדריכלים והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל, שנקר וסיסטמטיקס- להדפסת תלת מימד והרשות לחינוך והכשרה ימיים בעכו ובמכון לחקר הנדסה ימית לתחום הים כמשאב לאומי.

בחינת צורכי התעשייה בהכשרות LLL בטכנולוגיות המפציעות שמופו הן מעטות מאוד ולרוב לא תואמות את הצרכים להכשרות בתחום שהעלו המנהלים בתחומים אלה בתעשייה. בהרבה מהתחומים ההכשרות הנדרשות הן כולות במקצוע היסוד שלמד העובד.

קימות הכשרות שהועלו כנדרשות ע"י התעשייה במספר תחומי ידע כגון: פייתון, מערכות ERP מתקדמות, עיבוד אותות, IoT - אינטרנט של הדברים, אלגוריתמיקה, איסוף וניתוח נתונים (ביג דאטה) ויישומי AI, הכשרות בטכניקות מתקדמות (self-labeling, adversary training) וטכניקות שימוש באימונים כלליים (כמו GPT), תכנון מתקדם באמצעות מחשב (תיב"ם), מערכות QA דיגיטליות ורובוטיקה מתקדמת. שאר הצרכים בהכשרות שהעלו המנהלים היו ספציפיות לכל תחום.

המלצות:

מהעבודה הנוכחית עולה מחד הצורך במתן הכשרות לאורך החיים לעובדים אקדמיים במקצועות STEM ומאיזך המענה המועט הקיים בפועל להכשרות כאלה בכלל ובטכנולוגיות/תחומי ידע מפציעים בפרט. מכאן עולה הצורך לקדם מדיניות לאומית להכשרות LLL, לקביעת סדרי עדיפויות ומתן תקציבים שיאפשרו את ביצוע המדיניות שתיקבע. על בסיס הניתוח והמיפוי מוצגות ההמלצות הבאות:

1. **למפות ארגונים ותעשיות בעלי עניין להיות שותפים בחשיבה ובהפעלה של פעילויות לימוד לאורך החיים.**
2. **לבנות מערכת בקרה והבטחת איכות גמישה שתאפשר צבירה של התנסויות והכשרות של LLL שיוכרו ע"י מעסיקים.**
3. **לקדם את נושא האקרדיטציה האקדמית של ההכשרות LLL.** יש צורך במערך מוסכם, אחיד ושקוף של אקרדיטציה והבטחת איכות. מערך כזה יקדם את איכות ההכשרות ויאפשר הכרה ברמת הידע והמיומנויות שנרכשו לצורך הרחבת אפשרויות התעסוקה וההתקדמות האישית במקומות העבודה.
4. **לפי עבודה זו מתקבל שגופי האקדמיה הם הפעילים ביותר בתחומי לימודים לאורך החיים. נכון לשאוף שיתווסף ייעוד לגופי האקדמיה לקידום לימודים לאורך החיים בתחומי התמחותם.**
5. **קידום סינרגיה ושותפות בין בעלי העניין בהכשרות LLL מעסיקים, אקדמיה, ארגונים מקצועיים.**
6. **לפתח הכשרות שנמצאו כנדרשות לעובדים בתעשייה במספר תחומי ידע כגון: שפת פיייתון, מערכות ERP מתקדמות, עיבוד אותות, IoT - אינטרנט של הדברים, אלגוריתמיקה, איסוף וניתוח נתונים (ביג דאטה) ויישומי AI, הכשרות בטכניקות מתקדמות (self-labeling, adversary training) וטכניקות שימוש באימונים כלליים (כמו GPT), תכנון מתקדם באמצעות מחשב (תיב"ם), מערכות QA דיגיטליות ורובוטיקה מתקדמת.**
7. **לבחון באופן מתמיד ומתמשך כיווני הכשרה נוספים שיש בהם צורך בלימודי המשך לקהלי יעד שונים.**
8. **מיפוי הצרכים בתחומי ידע מפציעים שבוצע במסגרת העבודה הנוכחית, מצביע על סדרי עדיפויות נדרשים בקידום LLL בהתאם לתרומה לכלכלה הלאומית ולעולם התעסוקה בישראל.**
9. **הפלטפורמה של קמפוס IL רחבה ופתוחה לכולם. כדאי לבחון הרחבת הפלטפורמה ליישום מעשי ל LLL כנדי להתאים שימוש בה להכשרות לימוד לאורך החיים.**
10. **הפלטפורמות האקדמיות המובילות ב LLL הן באוניברסיטאות אך יש מקום לבחון את הרחבת הפעילות בתחומים אלה במכללות לאור הגמישות הנדרשת בקידום תוכניות LLL והקשר הצמוד יותר עם התעשייה וכן גם לאור הנוכחות הגיאוגרפית הרחבה שלהן, שיש בה פוטנציאל לקשר קרוב יותר עם צרכני ה LLL.**
11. **לקדם ולפתח פדגוגיות למידה מתאימות ל LLL. בהקשר זה יש לתת את הדעת על החלק הגדול יותר של תוכניות מקוונות שקיימות במכללות יחסית לאוניברסיטאות וכן לפוטנציאל למעורבות גדולה יותר של האוניברסיטה הפתוחה שאופי פעולתה מתאים ל LLL.**

12. על מנת לפתח את הכשרות ה-LLL הנדרשות לעובדים בתעשייה בטכנולוגיות/תחומי ידע מפציעים, יש צורך:

- להעביר את החומר שנאסף בעבודה זו למומחי ידע בכל אחד מהתחומים לצורך גיבוש והמלצה על מספר נושאים מרכזיים בעלי עדיפות גבוהה לפיתוח הכשרות LLL.
- לבחור ולעודד גופי הכשרה לביצוע ההכשרות בתחומים אלה.
- לפתח ולעודד הכשרות בשיתוף עם מומחי ידע בתחומים השונים ובשיתוף חברות שעוסקות בכל אחד מהתחומים על מנת לוודא שההכשרות יענו על צרכי התעשייה בכל אחד מהתחומים.



neaman.org.il

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

הון אנושי