



מדע וטכנולוגיה

בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה דו"ח ראשון

ד"ר דפנה גץ
אושרת כץ שחם
רינת קליין
ד"ר רועי צזנה
שלמה רוזנברג
אבידע שהם
אלה ברזני
ד"ר ערן לק
סימה ציפרפל

סביבה
ואנרגיה

תכנון
ארוך טווח

תעשייה
וחדשנות

תשתיות
פיזיות

בריאות

הון
אנושי

השכלה
גבוהה

חברה

חינוך

כלכלה



מוגש למועצה הלאומית למחקר ופיתוח במשרד המדע והטכנולוגיה

בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורבובטיקה חכמה

דו"ח ראשון - שלב ב'

חוקרים:

ד"ר דפנה גץ

אושרת כץ שחם, רינת קליין, ד"ר רועי צזנה, שלמה רוזנברג, אבידע שהם,
אלה ברזני, ד"ר ערן לק, סימה ציפרפל

אוגוסט, 2018

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 המחבר/ים ואינן משקפות בהכרח את דעת
מוסד שמואל נאמן.

תוכן עניינים

1.	רקע, מטרות ומתודולוגיה	8
2.	הגדרות	9
3.	ניתוח תפוקות מחקר: פרסומים ופטנטים	12
4.	ניתוח ראיונות	39
5.	המשך מחקר	54
נספח 1:	סקר ספרות	55
נספח 2:	סקר ספרות בנושאי הון אנושי	136
נספח 3:	קידום ופיתוח עובדים בבינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה במדינות נבחרות..	160
נספח 4:	מיפוי סקטורי הממשלה, האקדמיה, מערכת הביטחון והתעשייה בתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה בישראל	176
נספח 5:	מסלולים בתחומי הבינה המלכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה באקדמיה	203
נספח 6:	רשימת מרואיינים	229
נספח 7:	סקר תעשייה	231

רשימת איורים

- איור 1: דוגמאות לתחומי ותת תחומי AI 9
- איור 2: מדעי הנתונים כבסיס לבינה מלאכותית 10
- איור 3: מדעי הנתונים כתחום הכולל בתוכו גם בינה מלאכותית 10
- איור 4: דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים ופרסומים לנפש – 2013-2017 **Error! Bookmark not defined.**
- איור 5: השינוי במספר הפרסומים הישראליים⁸ בהשוואה למדינות ברות-השוואה – 2000-2017 14
- איור 6: השינוי במספר הפרסומים הישראליים בתחום הבינה המלאכותית בהשוואה לעולם ולמדינות ה-OECD – 2000-2017 15
- איור 7: מספר הפרסומים¹¹ שמתארים תוצאות מחקרים שנכתבו בשיתוף פעולה בינלאומי, ישראל בהשוואה למדינות נבחרות – 2008-2017 15
- איור 8: מספר הפרסומים¹¹ וממוצע ציטוטים מנורמל של ישראל בהשוואה למדינות נבחרות¹¹ – 2003-2017 16
- איור 9: מספר הפרסומים¹¹ המצוטטים ביותר (Top 10 citation percentile) – 2007-2016 17
- איור 10: דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים ב-5 כנסים מובילים – 2013-2017 18
- איור 11: דירוג המדינות לפי מספר הפטנטים שמצטטים מאמרים בתחום הבינה המלאכותית¹¹ – 2005-2014 18
- איור 12: השוואה בין מספר המאמרים למחבר בקטגוריית הבינה המלאכותית¹¹ – 2013-2017 19
- איור 13: דירוג המדינות לפי מספר פרסומים (A) ומספר פרסומים למיליון נפש (B) – 2008-2012 בתחום מדעי המחשב בחיפוש לפי מילות מפתח נבחרות 23
- איור 14: דירוג המדינות לפי מספר פרסומים (A) ומספר פרסומים למיליון נפש (B) – 2013-2017 בתחום מדעי המחשב בחיפוש לפי מילות מפתח נבחרות 24
- איור 15: דירוג המדינות לפי מספר פרסומים (A) ומספר פרסומים למיליון נפש (B) – 2013-2017 בתחום רפואה, ביוכימיה וביולוגיה בחיפוש לפי מילות מפתח נבחרות 25
- איור 16: מספר בקשות פטנטים הקשורים ל-AI ב-P5 (5 משרדי הפטנטים המובילים בעולם) בשנים 2015-2000 27
- איור 17: שיעור בקשות פטנטים הקשורים ל-AI ב-P5 (5 משרדי הפטנטים המובילים בעולם) מתוך סך הפטנטים ב-P5 של מדינות נבחרות בשנים 2005-2000 ו-2010-2015 28
- איור 18: מספר בקשות פטנטים ב-P5 הקשורים ל-AI בשנים 2005-2000 ו-2010-2015 לפי טכנולוגיות: 29
- איור 19: מספר בקשות פטנטים ב-P5 הקשורים ל-AI ב-10 טכנולוגיות רפואיות מובילות: 30
- איור 20: סך כל בקשות ייחודיות בתחום ה-AI עבור מגישים ישראלים ומגישים זרים (לפחות ממציא אחד ישראלי) 31
- איור 21: סך כל בקשות ייחודיות בתחום ה-AI עבור ממציאים ישראלים, מגישים ישראלים ומגישים זרים (לפחות ממציא אחד ישראלי) 32
- איור 22: החברות הישראליות הבולטות בבקשות ייחודיות לפטנטים בתחום ה-AI בשנים 2000-2015 33
- איור 23: החברות הזרות הבולטות בבקשות ייחודיות לפטנטים בתחום ה-AI בשנים 2000-2015 34

איור 24:	בקשות ייחודיות לפטנט בתחום ה AI עבור אוניברסיטאות בשנים 2000-2015.....	35
איור 25:	התפלגות בקשות ייחודיות לפטנטים בתחום ה-AI לפי סיווג טכנולוגי של הפטנט, חברות ישראליות	36
איור 26:	התפלגות בקשות ייחודיות לפטנטים בתחום ה AI לפי סיווג טכנולוגי של הפטנט, חברות בינלאומיות	38
איור 27:	תת-תחומי הבינה המלאכותית לפי Callaghan Innovation.....	61
איור 28:	: עלות הנסיעה ברכב האוטונומי לפי מייל, בהשוואה לרכבים מסוגים שוני	70
איור 29:	ביקוש והיצע צפוי למדעני מידע, 2024	138
איור 30:	התפלגות חוקרים במיפוי לפי מוסד- אוניברסיטאות	187
איור 31:	התפלגות חוקרים במיפוי לפי מוסד- מכללות	188
איור 32:	התפלגות חוקרים במיפוי לפי אוניברסיטאות ולפי פקולטות	189
איור 33:	תחומי עניין אצל חוקרים במיפוי	190
איור 34:	התפלגות מסלולים לפי סיווג - תואר ראשון	190
איור 35:	התפלגות מסלולים לפי סיווג - תארים מתקדמים	191
איור 36:	תזות לתארים שני ושלישי לפי שנים, 2007-2016	192
איור 37:	תזות לתארים שני ושלישי לפי מוסדות מחקר, 2007-2017	192
איור 38:	התפלגות תזות לפי ביטויי מפתח, 2007-2016	193
איור 39:	התפלגות תזות שיש בהן את ביטוי המפתח 'Artificial Intelligence', 2007-2016	194
איור 40:	התפלגות תזות שיש בהן את ביטוי המפתח 'Machine Learning', 2007-2016	194
איור 41:	התפלגות תזות שיש בהן את ביטוי המפתח 'Deep Learning', 2007-2016	195
איור 42:	התפלגות תזות שיש בהן את ביטוי המפתח 'Big Data', 2007-2016	195
איור 43:	חברות בתחום הבינה המלאכותית לפי שנת הקמה	198
איור 44:	חברות בתחום הבינה המלאכותית לפי Funding Stage	198
איור 45:	חברות בתחום ה-AI לפי Product Stage	199
איור 46:	חברות בתחום הבינה המלאכותית לפי מספר עובדים:	200
איור 47:	חברות בתחום הבינה המלאכותית לפי סקטורים	200
איור 48:	חברות בתחום ה-AI לפי המיקום הגיאוגרפי	201
איור 49:	גיוסים (במיליוני \$) ומספר סבבי גיוסים לפי Startup Nation Central	202

רשימת טבלאות

טבלה 1: מספר החוקרים הבולטים בתחום הבינה המלאכותית AI בשנים 2013-2017 במדינות ברות השוואה	20
טבלה 2: מספר הפרסומים לחוקר בתחום הבינה המלאכותית AI בשנים 2013-2017 במדינות ברות השוואה	20
טבלה 3: מענקי ERC בתחום בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה	21
טבלה 4: הדירוג של ישראל בתחומים ותת תחומים שונים	26
טבלה 5: חמש החברות הישראליות הבולטות בבקשות ייחודיות לפטנט בתחום ה-AI בשנים 2000-2015	32
טבלה 6: מספר החברות אשר רשמו את הגידול הגדול ביותר במספר בקשות ייחודיות לפטנטים בטכנולוגיות Input arrangement for transferring data בין השנים 2006-2010 ל-2011-2015	37
טבלה 7: תיאוריות בסיסיות בבינה מלאכותית לפי התכנית הלאומית הסינית מ-2017	93
טבלה 8: תיאור המקצועות השונים בתחום ה-Data Science and Analytics	136
טבלה 9: נתונים לגבי ביקוש לעובדי Data Science and Analytics, (Markow et al., 2017)	137
טבלה 10: שיעור ביקוש עובדי Data Science and Analytics לפי ורטיקלים 2015 (התחומים שבהם הביקוש הצפוי הוא 25% ומעלה מודגשים בצבע)	137
טבלה 11: מיפוי המיומנויות הנדרשות ביותר אצל עובדי DSA לפי מספר משרות בשנת 2015 ולפי קצב הגידול הצפוי	139
טבלה 12: צפי לדרישות כוח אדם בתחום מדעי הנתונים, מעובד על פי (Markow, W., Braganza, S., Taska, B., Hughes, D., & Miller, 2017)	142
טבלה 13: תתי התחומים בבינה המלאכותית, המבוקשים ביותר בשוק בארה"ב כיום מוצגים בסדר יורד (Perrault et al., 2017)	144
טבלה 14: תחומים מקצועיים מובילים בביקוש לתעשיית הרכב האוטונומי בארה"ב ("Connected and automated vehicles skills gap analysis," 2017)	147
טבלה 15: תארים אקדמיים דרושים (בסדר יורד) בתחום ניהול מידע ואבטחת סייבר בתעשיית הרכב האוטונומי ("Connected and Automated Vehicles Skills Gap Analysis," 2017)	147
טבלה 16: תארים אקדמיים דרושים (בסדר יורד) בתחום הנדסת טכנולוגיות המידע לרכב (Vehicle IT Design) בתעשיית הרכב האוטונומי ("Connected and automated vehicles skills gap analysis," 2017)	148
טבלה 17: תארים אקדמיים דרושים (בסדר יורד) בתחום הנדסת הרכב וביצוע בדיקות (Vehicle Design and Testing בתעשיית הרכב האוטונומי "Connected and Automated Vehicles Skills Gap Analysis," 2017)	148
טבלה 18: גופי ידע (Bodies of Knowledge) נדרשים בכל אחד מהכישורים	152
טבלה 19: יעדי למידה מרכזיים (על פי Demchenko, Belloum, et al., 2017) בחלוקה לרמות מיומנות נדרשת: היכרות (Familiarity), שימוש (Usage), הערכה (Assessment)	153
טבלה 20: הפרופילים המקצועיים השונים הקיימים במקצועות ה-Data Science	154
טבלה 21: קולות קוראים במסגרת תכנית Horizon 2020 בנושאי בינה מלאכותית, מדעי המידע ורובוטיקה חכמה	184
טבלה 22: קורסים ומסלולי לימוד באקדמיה (נכון לשנה"ל תשע"ח)	204

רשימת קיצורים

AI	Artificial Intelligence
AIS	Autonomous Intelligent Systems
BD	Big Data
BI	Business Intelligence
CV	Computer Vision
DL	Deep Learning
DS	Data Science
DSA	Data Science and Analytics
HC	Human-Computer Interaction
IOT	Internet of Things
ML	Machine Learning
NLP	Natural Language Processing
RAID	Robotics, Artificial Intelligence and Data Science

תודות

מסמך זה הוכן בשיתוף, הנחייה ומימון המועצה הלאומית למו"פ (מולמו"פ).

צוות הפרויקט מודה לד"ר גורי זילכה וד"ר ניל נמיר על ההנחיה והסיוע.

תודתנו נתונה גם למרואיינים שתרמו לגיבוש התובנות הראשוניות בחלק העוסק בצרכי כוח אדם מדעי וטכנולוגי בתעשייה ובאקדמיה (שמות המרואיינים מפורטים במסמך).

תודה מיוחדת למר דניאל זינגר מ-<http://www.startuphub.ai> על הייעוץ והתמיכה.

1. רקע, מטרות ומתודולוגיה

◀ רקע

המועצה הלאומית למחקר ולפיתוח (המולמו"פ) פועלת לפי חוק המולמו"פ, התשס"ג, 2002 - המטיל עליה לייעץ לממשלה בגיבוש מדיניות המולמו"פ ברמה הלאומית.

המולמו"פ ביקשה לבחון את הפעילות בתחומי בינה מלאכותית, מדעי נתונים ורובוטיקה חכמה מתוך הבנה כי תחומים אלו התפתחו במדינת ישראל ובעולם כולו באופן ניכר בשנים האחרונות. ממשלת ישראל מעוניינת להאיץ את הפיתוח בתחומים האלו, ורואה פוטנציאל משמעותי לכלכלת ולביטחון ישראל ע"י הפניית משאבים לנושאים אלו.

מוסד שמואל נאמן למחקרי מדיניות לאומית זכה במכרז שפורסם על ידי המולמו"פ במטרה לגבש תמונת מצב עדכנית ומלאה אודות הפעילות הנעשית כיום, באקדמיה ובתעשייה בתחומי בינה מלאכותית, מדעי נתונים ורובוטיקה חכמה. כמו כן, התבקש מוסד שמואל נאמן לבחון את האפשרויות לקדם תחומים אלו, בדומה לפעילויות במדינות מתקדמות רבות בעולם.

דו"ח ביניים זה הוא הראשון מבין שלושה דו"חות הצפויים לצאת במסגרת הפרויקט. הדו"ח מסכם את שמונת חודשי הפרויקט הראשונים שבהם בוצעה עבודה נרחבת להגדרת תחומי המחקר, סקירת ומיפוי הפעילות בתחומים אלו במדינת ישראל, זיהוי ראשוני של החוזקות והחולשות של מדינת ישראל והמלצות ראשוניות לכיוונים עבור תכנית לאומית אסטרטגית בתחומים אלו.

סקר הספרות המופיע בנספח לדו"ח¹ סוקר, בין השאר, תכניות אסטרטגיות מהעולם בתחומי הבינה המלאכותית, מדעי הנתונים והרובוטיקה החכמה. חלק אחר בסקר הספרות מוקדש להון אנושי ובוחן את המיומנויות והחוסרים הצפויים במדינות שונות וכן את תכנית 'אדיסון' האירופית הממוקדת בהכשרת כ"א בתחומים הרלוונטיים.

◀ מטרות המחקר

- » למפות את הפעילות בתחומי הבינה המלאכותית, מדעי הנתונים והרובוטיקה החכמה באקדמיה ובתעשייה בישראל ולסקור פעילויות נבחרות במערכת הביטחון ובממשלה;
- » לבחון את החוזקות והחולשות של ישראל ולזהות הזדמנויות ואיומים עבור המדינה בתחומים אלו;
- » לסקור תכניות אסטרטגיות בעולם בתחומים אלו;
- » להמליץ על תכנית לאומית אסטרטגית לקידום תחומים אלו בישראל.

◀ מתודולוגיה

בחלק הראשון של הפרויקט נעשה שימוש בשלוש מתודולוגיות עיקריות:

- » סקר ספרות מקיף
- » ניתוח תפוקות מחקר - פרסומים ופטנטים
- » ראיונות עומק עם כ-60 מומחים מהאקדמיה, התעשייה, הצבא והממשלה וניתוח איכותני של ראיונות אלו בחלקים העתידיים יעשה שימוש במתודולוגיות נוספות:
- » סקר להעמקת הידע לגבי המצב בתעשייה
- » שולחן עגול לתיקוף הממצאים וההמלצות
- » פירוט נוסף לגבי המתודולוגיות השונות נמצא בחלקי הדו"ח הבאים.

¹ סקר ספרות זה הועבר למולמו"פ בחודש מרץ 2018 כתוצר ראשוני בפרויקט.

2. הגדרות

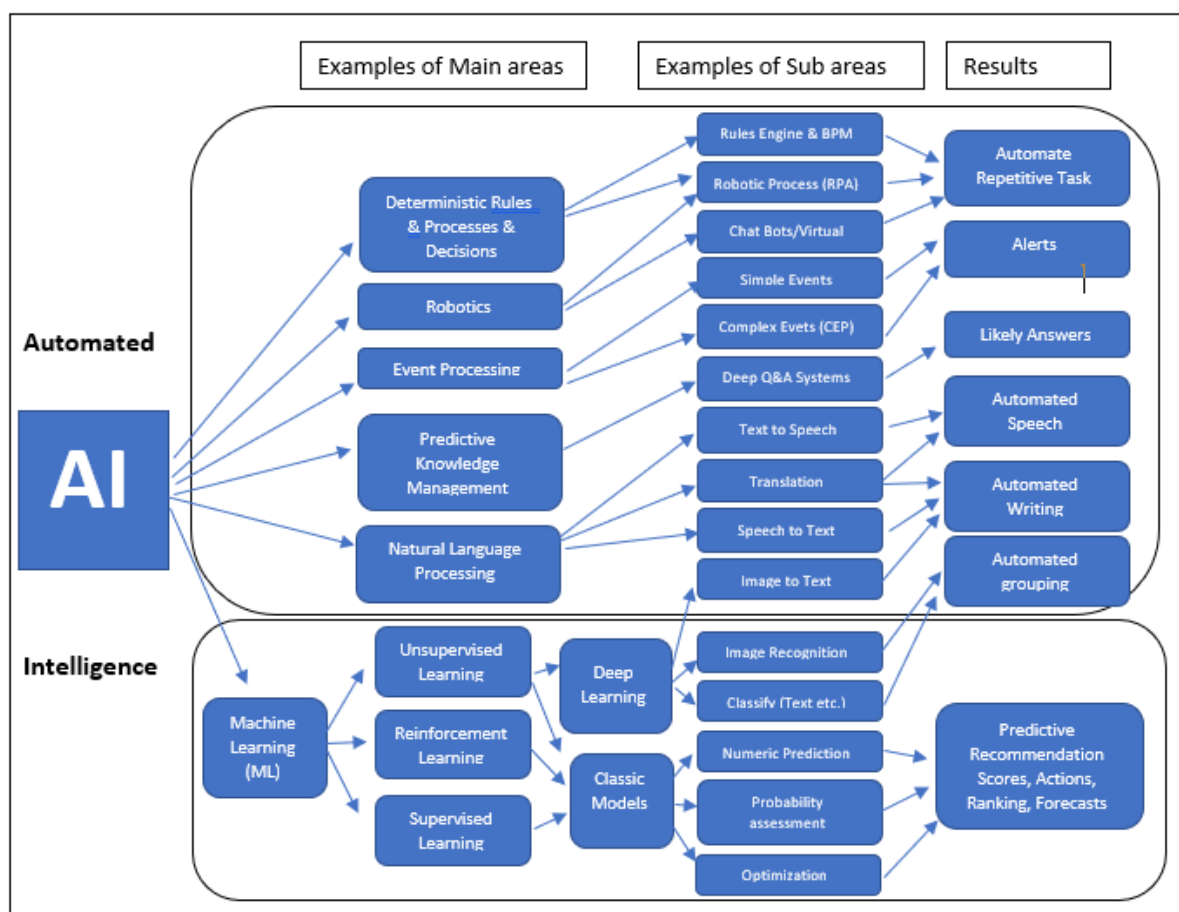
דו"ח זה עוסק בשלושה תחומי מחקר נרחבים הקשורים זה לזה: בינה מלאכותית (Artificial Intelligence), מדעי הנתונים (Data Science) ורובוטיקה חכמה (Smart Robotics). אין הגדרה אחת מוסכמת בספרות לכל אחד ממונחים אלה. עובדה זו עלתה באופן ברור גם בראיונות שערכנו, בהם אנשים שונים הביעו דעות שונות לגבי הגדרת התחומים והגבולות שביניהם.

מכיוון שכך, בחרנו להתייחס הן לבינה מלאכותית והן למדעי הנתונים בצורתם הרחבה ביותר. כך למשל, 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).

האיור הבא מדגים חלק מהתחומים העיקריים בבינה מלאכותית:

איור 1: דוגמאות לתחומי ותת תחומי AI



מקור: (vincejeffs.com, 2017)

הגדרת מדעי הנתונים מורכבת אף היא. הטכנולוגיות הרלוונטיות לתחום מדעי זה הן:

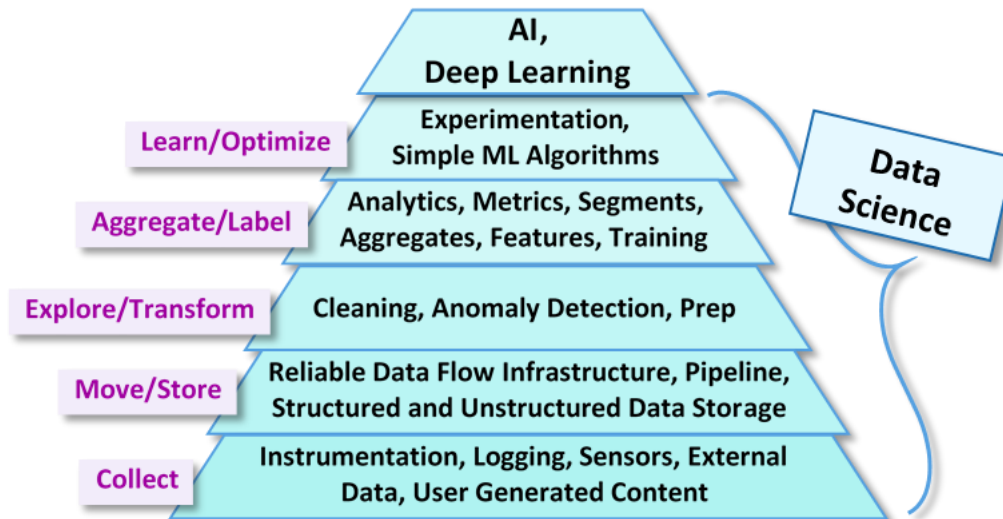
» **טכנולוגיות לאיסוף מידע:** טכנולוגיות האוספות מידע לשימושים שונים, כגון האינטרנט של הדברים על כל חיישניה.

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

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

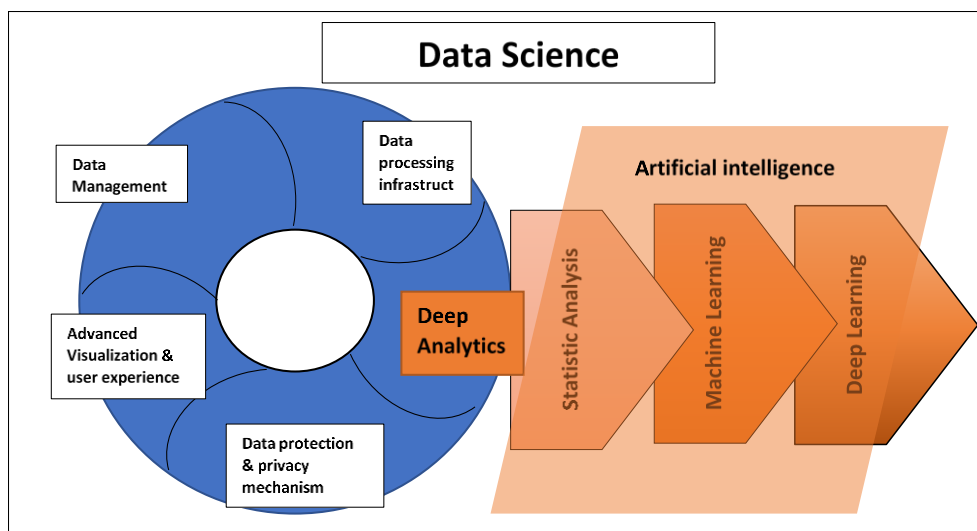
אלא שנושאים כמו חיזוי אנליטי או פענוח משמעותות מתאימים גם להגדרה של בינה מלאכותית. ואכן, בראיונות שביצענו חלק מהמראיינים התייחסו למדעי הנתונים כאל הבסיס לבינה מלאכותית (ראו איור 2), ואילו אחרים התייחסו למדעי הנתונים כתחום הכולל בתוכו גם בינה מלאכותית (ראו איור 3).

איור 2: מדעי הנתונים כבסיס לבינה מלאכותית



מקור: (Rogati, 2017)

איור 3: מדעי הנתונים כתחום הכולל בתוכו גם בינה מלאכותית



מקור: (Martínez, 2018)

המונח 'רובוטיקה חכמה' מצביע על קשר בין רובוטים או מפעילים (אקטואטורים) בעולם הפיזי לבין בינה מלאכותית. האיחוד האירופי מייחס את התכונות הבאות ל'רובוטים אוטונומיים חכמים' (Smart Autonomous Robots) (Nevejans, 2017):

- acquires autonomy through sensors and/or by exchanging data with its environment (inter-connectivity) and trades and analyses data;
- is self-learning (optional criterion);
- has a physical support;
- adapts its behaviours and actions to its environment

מקורות להגדרות:

Martínez, D. (2018). Aviation revolution nears with Artificial Intelligence and Deep Learning. Retrieved from <http://datascience.aero/aviation-revolution-ai-deep-learning/>

National Academy of Sciences. (2018). The Frontiers of Machine Learning: 2017 Raymond and Beverly Sackler U.S.-U.K. Scientific Forum. National Academy of Sciences.

Nevejans, N. (2017). European Civil Law Rules in Robotics. Directorate-General for Internal Policies: Policy Department C: Citizens' Rights and Constitutional Affairs

Rogati, M. (2017). The AI Hierarchy of Needs –. Retrieved from <https://hackernoon.com/the-ai-hierarchy-of-needs-18f111fcc007>

vincejeffs.com. (2017). Marketing Technology - machine learning for Smarter Marketing. Retrieved from <http://vincejeffs.com/>

3. ניתוח תפוקות מחקר: פרסומים ופטנטים

◀ פרסומים מדעיים

» מבוא

ביבליומטריה משמשת לביצוע אנליזה של פרסומים מדעיים באמצעות ניתוח סטטיסטי של הנתונים הביבליוגרפיים של מאמרים. סקופוס (Scopus) ו-WoS (Web of Science) הינם שני המאגרים הביבליומטריים העיקריים המשמשים לצורך ביצוע בדיקות מסוג זה.

מאגר WoS נחשב פחות מתאים² להערכות ביבליומטריות בתחומים הקשורים לאינפורמטיקה (Informatics), בין היתר משום שהוא מכסה מספר נמוך יחסית של כנסים בתחום מדעי המחשב (בהשוואה לסקופוס). אתר Google Scholar, שכולל גם הוא תיעוד ביבליוגרפי של מאמרים ממקורות שונים, אינו מאפשר ביצוע ניתוחים סטטיסטיים מורכבים ולכן לא התאים לניתוחים הביבליומטריים שבוצעו בדו"ח הנוכחי.

מאגר סקופוס כולל כיסוי נרחב של כתבי-עת וכנסים, יחד עם אפשרויות חיפוש וסינון מתקדמות ולכן נבחר לשמש כתשתית לחיפוש הנתונים שנבדקו בפרק זה. להשלמת המידע ונתוני הציטוטים השתמשנו במאגר SciVal המבוסס על מאגרי הנתונים של סקופוס.

אחזור נתוני המאמרים במאגרים הביבליומטריים יכול להתבצע באמצעות הגדרת שאלות לפי מילות מפתח נבחרות³ ו/או סינון לפי קטגוריות מובנות של המאגר. להגדרה של מילות המפתח והבחירה של שדות החיפוש להרצת השאלות במאגר הביבליומטרי ישנה השפעה ניכרת על התוצאות המתקבלות⁴.

במאגר סקופוס קיימת קטגוריה בשם Computer Science הכוללת מאמרים שפורסמו בכתבי-עת המסווגים לתחום מדעי המחשב. קטגוריה זו כוללת 3 תתי-קטגוריות שזיהינו כרלוונטיות לתחום המחקר הנוכחי:

Artificial Intelligence - AI -

Human-Computer Interaction - HC -

Computer Vision and Pattern Recognition- CV -

ישנם כתבי-עת שמסווגים ליותר מתת-קטגוריה אחת⁵, אך בכל מקרה – כל מאמר נספר פעם אחת בלבד.

בשנים האחרונות ניתן להבחין במעבר משמעותי של חוקרים בתחום הבינה המלאכותית מהאקדמיה לתעשייה; ישנן חברות שגייסו צוותי מחקר שלמים מהאוניברסיטאות⁶. תהליך זה הגביר את התופעה של פרסום במקורות פתוחים כמו ArXiv ו-viXra - שלא בהכרח מתועדים ע"י המאגרים הביבליומטריים ולכן גם קיים קושי לעקוב אחר מספר הציטוטים שלהם. פרסום במקורות מסוג זה מקצר את תהליך הפרסום בהשוואה לכתבי-עת שפיטים (peer-review) ולכן עשוי להיות עדיף במקרים של מאמרים שקשורים להגשת פטנטים.

² Alonso, J. M., Castiello, C., & Mencar, C. (2018, June). A Bibliometric Analysis of the Explainable Artificial Intelligence Research Field. In International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (pp. 3-15). Springer, Cham

³ Kumaran, M., & Manoharan, A. (2017). Cited and Uncited Publications on Artificial Intelligence Research Output. Journal of Advances in Library and Information Science, 6(3), 191-195.

⁴ Omar, M., Mehmood, A., Choi, G. S., & Park, H. W. (2017). Global mapping of artificial intelligence in Google and Google Scholar. Scientometrics, 113(3), 1269-1305.

⁵ כ-60% מהמאמרים ב-3 הקטגוריות הנבחרות (ב-2017-2013) מסווגים לקטגוריית Artificial Intelligence

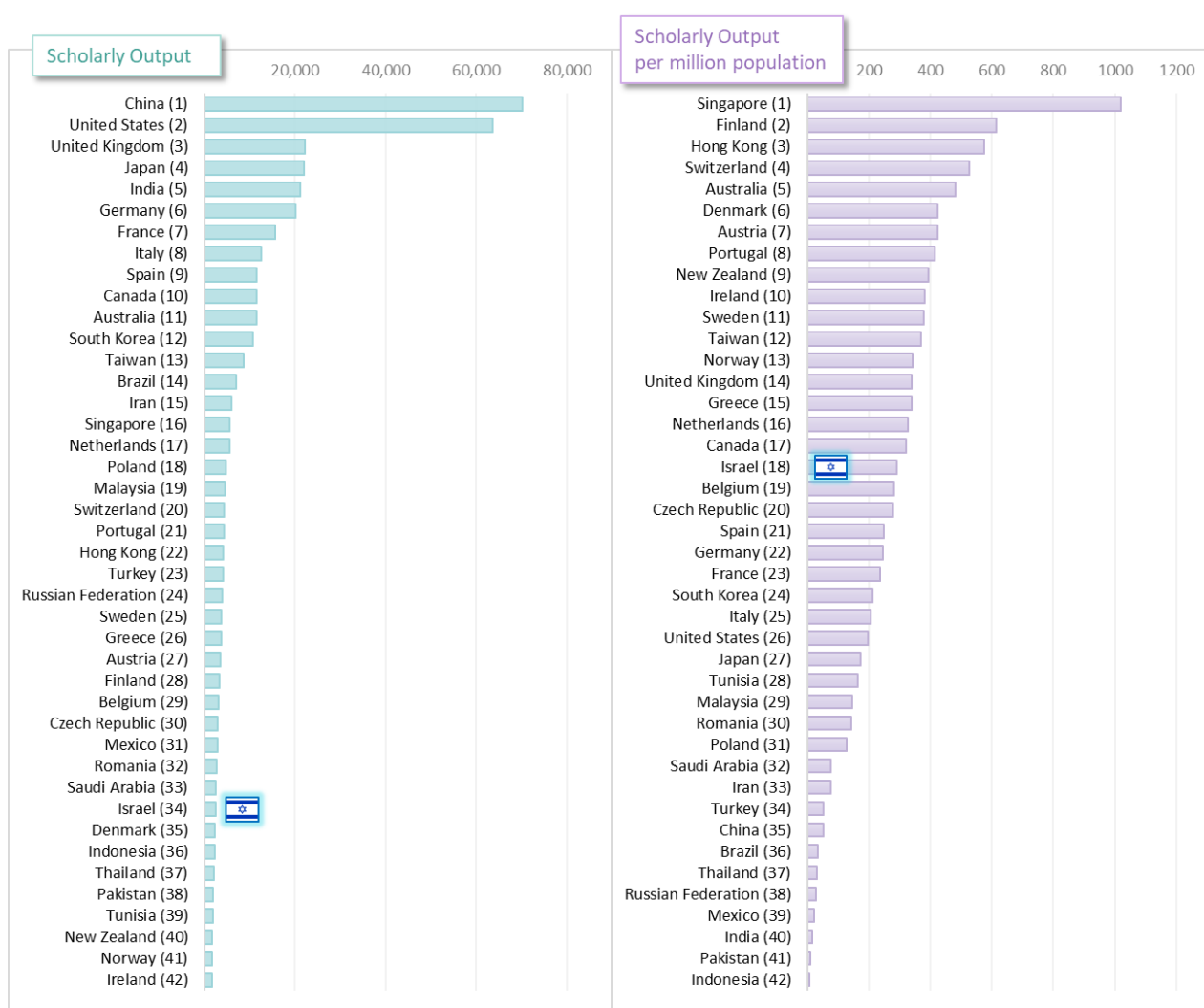
⁶ Perez, J. A., Deligianni, F., Ravi, D., & Yang, G. Z. (2018). Artificial Intelligence and Robotics. arXiv preprint arXiv:1803.10813.

בשל הרכב המקורות ומגוון המתודולוגיות המשמשות להגדרת הפרסומים המדעיים בתחום הבינה המלאכותית, לא קיימת דרך לקביעת כלל הפרסומים בתחום; הנתונים המתוארים בפרק זה מהווים מדגם שאמור לשקף את המיקום היחסי של מדינת ישראל בזירת המחקר הבינלאומית של בינה מלאכותית.

» נתוני תפוקות מחקר

איור 4 מציג את דירוג המדינות לפי מספר פרסומים ופרסומים לנפש ב-3 הקטגוריות שהגדרנו כרלוונטיות לתחום המחקר (AI, CV, HC) במהלך 2013-2017. בגרף השמאלי ניתן לראות שישראל ממוקמת במקום ה-34 בדירוג לפי מספר הפרסומים⁷. סין וארה"ב מובילות בדירוג לפי מדד זה. בדירוג לפי מספר פרסומים לנפש (גרף ימני) – ישראל מופיעה במקום ה-18 מבין 42 המדינות שפירסמו 0.5% ומעלה מהפרסומים בתחום. סינגפור מובילה את הדירוג במדד זה, ואחריה – פינלנד, הונג קונג ושווייץ.

איור 4: דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים ופרסומים לנפש⁸ – 2013-2017



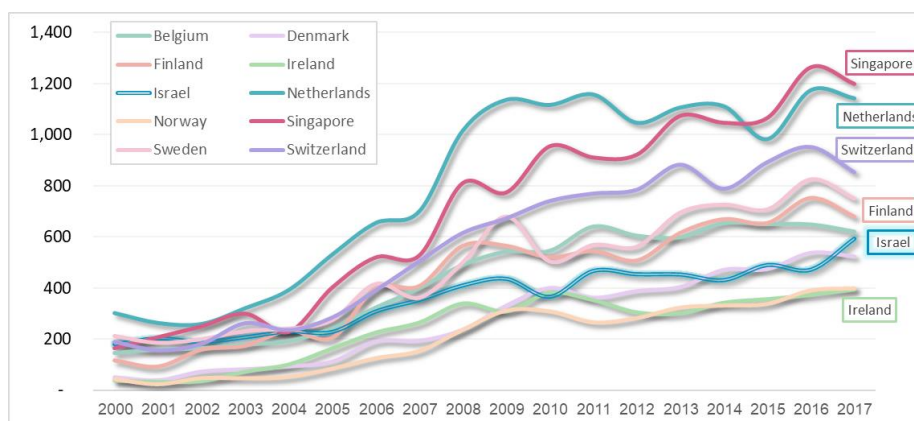
⁷ * לצורך השוואה – ישראל ממוקמת במקום ה-32 בדירוג לפי כלל הפרסומים בעולם באותה התקופה, ובמקום זה (32) בדירוג של מספר הפרסומים בקטגוריית Computer Science

⁸ ב-3 תתי-הקטגוריות הנבחרות:

ההכרזה על תחילת עידן ה-AI⁴ ניתנה בכנס Code 2016⁹ שבו ג'יני רומטי - המנכ"לית של IBM קבעה כי תוך חמש שנים בינה מלאכותית תשפיע על כל החלטה עסקית.

איור 5 מתאר את השינוי במספר הפרסומים הישראליים בתחומי הבינה המלאכותית לאורך זמן, בהשוואה למדינות ברות-השוואה¹⁰. בולטת במיוחד העלייה הגבוהה במספר הפרסומים של סינגפור (630% בתקופה שנבדקה), הולנד (279%), ושווייץ (351%); כדאי לציין גם את הצמיחה הגבוהה במספר הפרסומים של אירלנד (915%); העלייה במספר הפרסומים הישראליים בתקופה זו הינה (229%).

איור 5: השינוי במספר הפרסומים הישראליים⁸ בהשוואה למדינות ברות-השוואה – 2000-2017



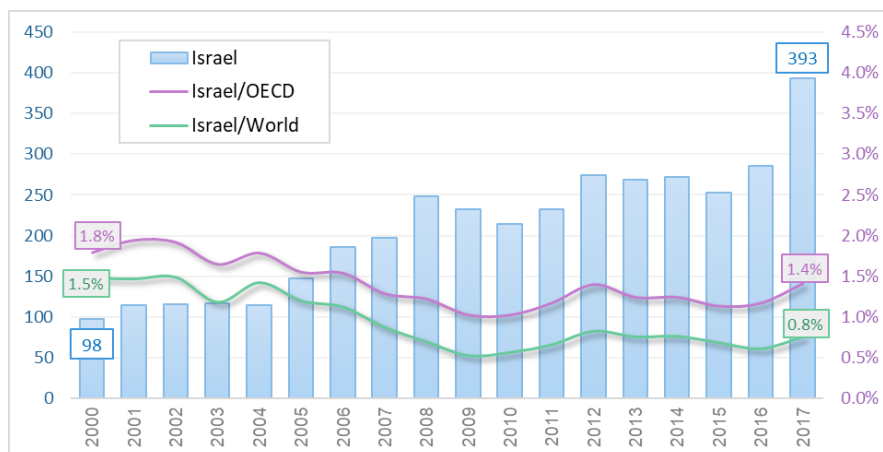
איור 6 מתאר את השינוי במספר הפרסומים הישראליים בתחום הבינה המלאכותית בהשוואה למספר הפרסומים בעולם ולמדינות ה-OECD. מספר הפרסומים הישראליים עלה, אך שיעורו מכלל הפרסומים העולמי וה-OECD (בתחום ה-AI) – ירד, וזאת משום ששיעור הצמיחה בפרסומים של מדינות כמו סין, ארה"ב, סינגפור (ושאר המדינות שהוגדרו כברות-השוואה) היה גבוה מזה של ישראל. שיעור הצמיחה בפרסומים מדינות ה-OECD הינו 409% ב-2000-2017; שיעור הצמיחה בפרסומים העולמי בתקופה זו הינו 688%.

⁹ Code Conference 2016

¹⁰ לרשימת המדינות ברות-השוואה נבחרו מדינות שדומות למדינת ישראל מבחינת גודל המדינה ומספר הפרסומים. השיקולים לבחירת המדינות מפורטים בפרק "השוואת ישראל למדינות נבחרות במדדים שונים" בדו"ח שפורסם בנושא "תפוקות מו"פ בישראל: פרסומים מדעיים בהשוואה בינלאומית, 2017". לרשימת המדינות המתוארות בדו"ח זה הוספנו את אירלנד שמתאימה לקריטריונים, ובנוסף מוגדרת כאחת מיצוגיות התוכנה הגדולות בעולם ומאכלסת מספר חברות מובילות בתחום הבינה המלאכותית.

גץ דפנה, לביד נועה, ברזני אלה. תפוקות מו"פ בישראל: פרסומים מדעיים בהשוואה בינלאומית, 2017 חיפה, ישראל מוסד שמואל נאמן, 2018.

איור 6: השינוי במספר הפרסומים הישראליים בתחום הבינה המלאכותית¹¹ בהשוואה לעולם ולמדינות ה-OECD – 2000-2017

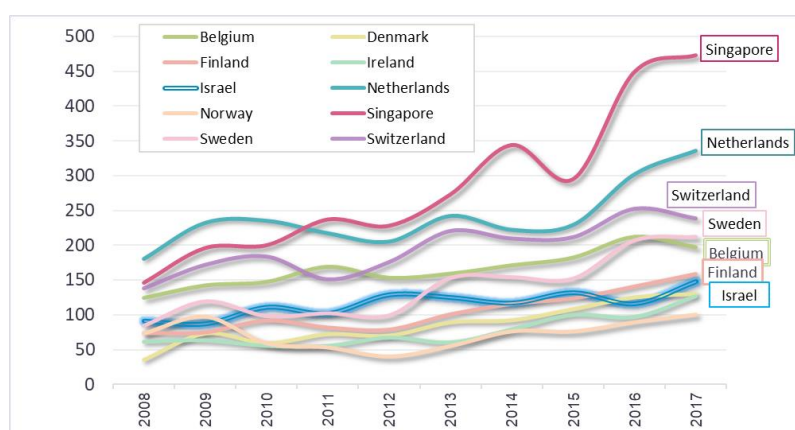


» שת"פ בינלאומי

שיעור הצמיחה הגבוה בשיתוף הפעולה הבינלאומי בין חוקרים במהלך העשורים האחרונים תורם לשיתוף הידע ולקידום המדע. פרסומים ישראליים הנספרים כשת"פ בינלאומי כוללים מאמרים שנכתבו ע"י חוקרים בעל שיוך לכתובת ישראלית יחד עם חוקרים ממדינות אחרות. פרסומים אלו כוללים הן מאמרים שנכתבו ע"י צוותי מחקר קטנים (לפחות 2 מחברים) והן מאמרים שפורסמו ע"י פרויקטים בינלאומיים עתירי מחברים.

איור 7 מציג השוואה בין מספר הפרסומים הישראליים שנכתבו בשיתוף פעולה עם חוקרים ממדינות אחרות לבין נתוני המדינות שהוגדרו כברות-השוואה. בולטת העלייה הגבוהה בשת"פ הבינלאומי של סינגפור (224% בתקופה שנבדקה); מספר הפרסומים המשותפים של ישראל עלה ב-63% במהלך העשור החולף. חשוב לציין ששת"פ בינלאומי נמצא כאחד הגורמים העיקריים שתורמים לעלייה במספר הפרסומים והציטוטים של מאמרים מדעיים¹².

איור 7: מספר הפרסומים¹¹ שמתארים תוצאות מחקרים שנכתבו בשיתוף פעולה בינלאומי, ישראל בהשוואה למדינות נבחרות – 2008-2017



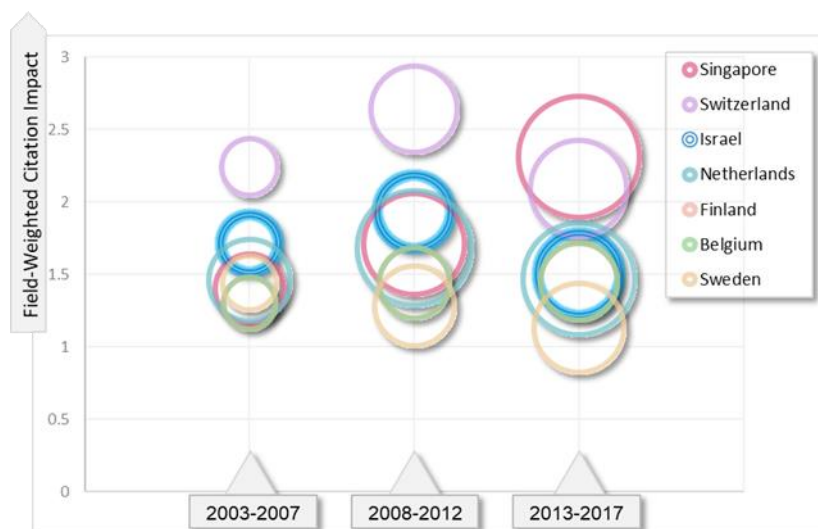
¹¹ הנתונים בגרף זה מתייחסים לקטגוריית Artificial Intelligence בסקופוס / SciVal. השינויים בקטגוריות ובתקופות השונות ששימשו לניתוח הפרסומים המדעיים נובעים מההבדלים בזמנים הנתונים עבור כל אחת מהבדיקות שערכנו

¹² Hsiehchen, D., Espinoza, M., & Hsieh, A. (2018). Evolution of collaboration and optimization of impact: self-organization in multinational research. *Scientometrics*, 1-17

» נתוני ציטוטים והשפעה מדעית וטכנולוגית

מספר הציטוטים של מאמר משמש באקדמיה כמדד העיקרי להערכת ההשפעה המדעית של המחקר. איור 8 מציג את השינוי במספר הפרסומים וממוצע הציטוטים המנורמל¹³ (Field-Weighted Citation Impact - FWCI¹⁴) של ישראל בהשוואה למדינות נבחרות¹⁵. בולטת העלייה של סינגפור הן במספר המאמרים והן בממוצע הציטוטים המנורמל.

איור 8: מספר הפרסומים¹¹ וממוצע ציטוטים מנורמל של ישראל בהשוואה למדינות נבחרות¹¹ – 2003-2017



מספר הציטוטים של המאמר עשוי לשקף את האיכות המדעית של המחקר; מאמרים מדעיים עשויים לזכות במספר ציטוטים גבוה אם הם עוסקים בנושאים חשובים ו/או תורמים מידע שימושי לתחומים הרלוונטיים, אך ישנם גורמים רבים נוספים המשפיעים על מספר הציטוטים: שיתוף פעולה עם חוקרים ממדינות שונות, בחירת כתב-העת או הכנס בו מתפרסם המאמר, פרסום ב-Open Access ועוד¹⁶.

איור 9 מציג את השינוי במספר הפרסומים שנכללים בקבוצה של 10% המאמרים המצוטטים ביותר בקטגוריית בינה מלאכותית. סינגפור מובילה בשיעור הצמיחה במדד זה עם 252% בתקופה שנבדקה.

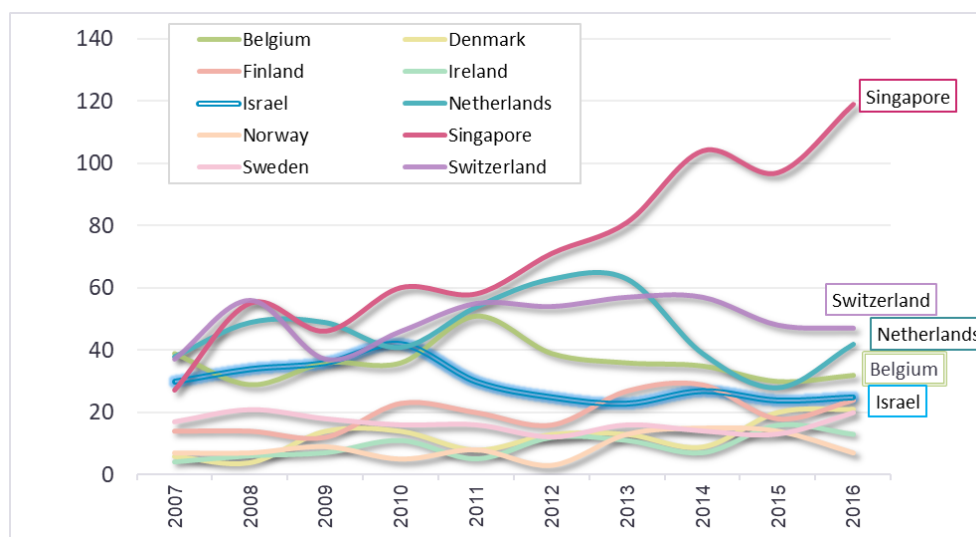
¹³ מדד זה כולל ציטוטים עצמיים

¹⁴ Field-Weighted Citation Impact: The ratio of citations received relative to the expected world average for the subject field, publication type and publication year.

¹⁵ בגרף זה מופיעות מדינות שפרסמו למעלה מאלף פרסומים בקטגוריית AI במהלך 2013-2017

¹⁶ Didegah, F. Determinants of Research Citation Impact: A Combined Statistical Modelling

איור 9: מספר הפרסומים¹⁷ המצוטטים ביותר (Top 10 citation percentile¹⁷) – 2007-2016



מחקר³ שבדק את ההבדלים בדפוסי הפרסומים והציטוטים בתחום הבינה המלאכותית מצא כי החוקרים בתחום זה מעדיפים לפרסם בכנסים, אולם רק שליש מהמאמרים שמתפרסמים בכנסים זוכים לציטוטים, לעומת כ-3/4 מהמאמרים שמתפרסמים בכתבי-עת. ב-2013-2017 כ-67% מהמאמרים הישראליים בתחום פורסמו בכנסים.

באיור 10 ניתן לראות את דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים ב-5 כנסים שהוגדרו ככנסים מובילים בתחום הבינה המלאכותית ע"י מרואיינים שהשתתפו במחקר הנוכחי:

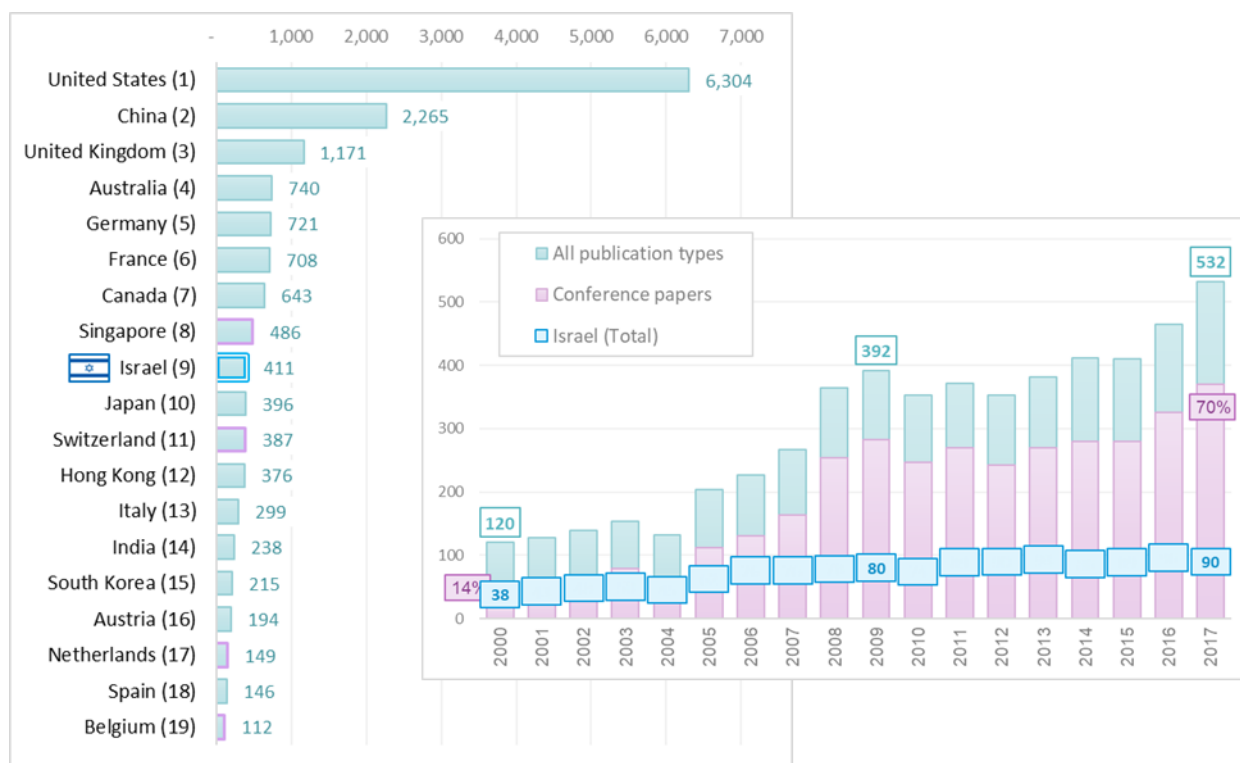
1. AAAI Conference on Artificial Intelligence
2. Computer Vision and Pattern Recognition
3. International Conference on Machine Learning
4. International Joint Conferences on Artificial Intelligence
5. Neural Information Processing Systems

ישראל מדורגת במקום ה-9 מבין כלל המדינות שפירסמו בכנסים אלו; מיקום זה גבוה יותר מזה של שאר המדינות שהוגדרו כברות השווה, מלבד סינגפור.

הגרף הימני מציג את השינוי במספר המקורות המסווגים לקטגוריית בינה מלאכותית במאגר סקופוס והיחס בין מספר הכנסים לכתבי-עת. מספר המקורות בתחום עלה ב-34% במהלך התקופה שנבדקה; מספר הכנסים עלה ב-46% במהלך העשור החולף – נתון שמעיד על הצמיחה האדירה של המחקר בתחום ה-AI בתקופה זו. ב-2017 כ-70% מהמקורות שכללו פרסומים בקטגוריית AI היו כנסים.

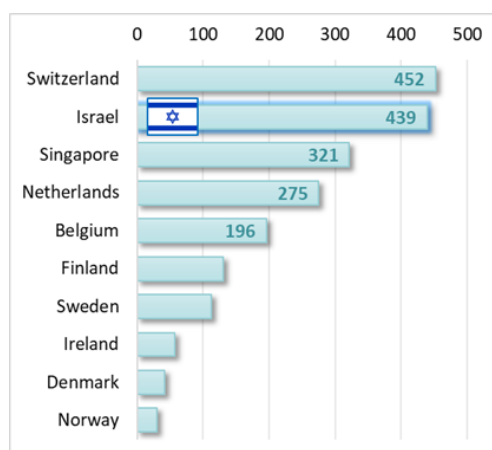
¹⁷ The number of publications of a selected entity that are highly cited, having reached a particular threshold of citations received.

איור 10: דירוג המדינות לפי מספר הפרסומים ב-5 כנסים מובילים – 2013-2017



איור 11 מציג את הדירוג של ישראל ומדינות ברות-השוואה לפי מספר הפטנטים שמצטטים מאמרים בקטגוריית הבינה המלאכותית. ישראל ממוקמת במקום השני אחרי שווייץ עם 439 פטנטים¹⁸ שציטטו מאמרים ישראלים בתחום ה-AI.

איור 11: דירוג המדינות לפי מספר הפטנטים¹⁹ שמצטטים מאמרים בתחום הבינה המלאכותית¹¹ – 2005-2014



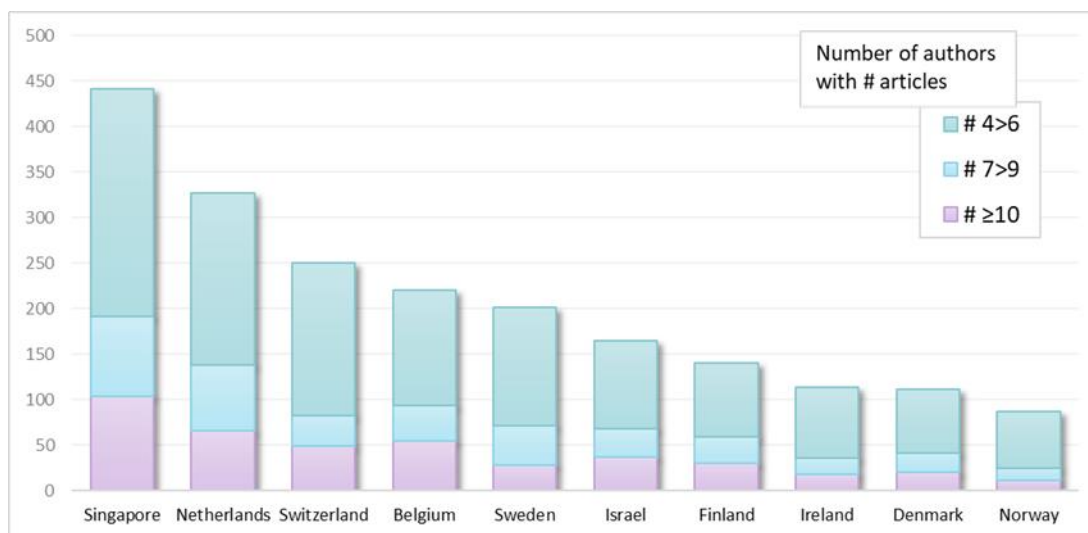
¹⁸ All patent offices

¹⁹ Citing-Patents Count: The count of patents citing the scholarly output published by the selected entity

» מספר החוקרים בתחום הבינה המלאכותית במדינות ברות השוואה

איור 12 מציג השוואה בין מספר הפרסומים למחבר בישראל בהשוואה למדינות נבחרות וכולל מחברים שפרסמו 4 מאמרים ומעלה בקטגוריית הבינה המלאכותית בתקופה שנבדקה. בממוצע, כ-60% מהמחברים בכל מדינה פרסמו 4-6 מאמרים בתחום, כ-20% פרסמו 7-9 מאמרים ו-20% פרסמו 10 מאמרים ומעלה. כרבע מהחוקרים פרסמו 10 מאמרים ומעלה.

איור 12: השוואה בין מספר המאמרים למחבר בקטגוריית הבינה המלאכותית¹¹ – 2013-2017



מתוך הנתונים ממאגר סקופוס, סך של כ-2,439 פרסומים²⁰ פורסמו על ידי כלל החוקרים הישראלים בין השנים 2013 ל-2017. מתוך המחקר שבוצע ב-2017, נמצא כי הממוצע של מספר הפרסומים בתחום הנדסה ומדעים מדויקים עומד על 0.95 פרסומים לחוקר לשנה²¹, לכן חוקרים בולטים הוגדרו כחוקרים אשר פרסמו חמישה מאמרים ויותר בתקופה זו.

מתוך טבלה 1 ניתן לראות, כי מספר החוקרים הבולטים גדול פי 2.5 בסינגפור ופי 2 בהולנד מאשר מספרם בישראל. ישראל ממוקמת באמצע הטבלה ומספר החוקרים הבולטים בה גדול בצורה משמעותית ממדינות ברות השוואה כגון דנמרק נורבגיה ואירלנד.

²⁰ הנתונים בגרף זה מתייחסים לקטגוריית Artificial Intelligence בסקופוס / SciVal

²¹ Starovoytova D., (2017), Research-Productivity at Engineering-School: Number of Publications per Faculty-Member, Journal of Education and Practice, 8-28

טבלה 1: מספר החוקרים הבולטים בתחום הבינה המלאכותית AI בשנים 2013-2017 במדינות ברות השוואה

#	Country	Number of leading researchers AI (5publications/5y)
1	Singapore	308
2	Netherlands	232
3	Belgium	167
4	Switzerland	161
5	Sweeden	134
6	Israel	111
7	Finland	92
8	Ireland	71
9	Denmark	70
10	Norway	54

טבלה 2: מספר הפרסומים לחוקר בתחום הבינה המלאכותית AI בשנים 2013-2017 במדינות ברות השוואה

#	Country	Avarage number of AI publications/leading researcher [13-17]
1	Singapore	11.2
2	Israel	10.4
3	Switzerland	10.1
4	Belgium	9.9
5	Finland	9.6
6	Netherlands	9.2
7	Denmark	8.4
8	Ireland	8.3
9	Norway	8.2
10	Sweeden	8.1

מתוך הנתונים בטבלה 2 עולה, כי כאשר בוחנים את מספר הפרסומים למחברים הבולטים, ישראל מדורגת כאחת המדינות המובילות עם יותר מעשרה פרסומים למחבר. ניתן לראות, שחוקרים ישראלים אינם נופלים מחוקרים במדינות ברות השוואה מבחינת הפיריון, ואף עולים עליהם בחלק מהמקרים.

חוקרים ישראלים זכו בסך של 483 מענקי ERC²², כאשר רק חמש מדינות מתוך המדינות החברות באיחוד האירופי ומדינה אחת מתוך המדינות הנלוות מקדימות אותה במספר המענקים. מתוך טבלה 3 ניתן לראות כי לפחות 5% (לפחות 26 מענקים) ממענקי ERC שקיבלו חוקרים מאוניברסיטאות בישראל היו מתחומים הנושקים לבינה המלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה.²³

²² מתוך אתר ERC erc.europa.eu/projects-figures/erc-funded-projects

²³ המענקים נבחרו לפי מילות המפתח כפי שפורטו בנספח 4: מיפוי סקטורי הממשלה, האקדמיה, מערכת הביטחון והתעשייה בתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה בישראל- מיפוי תזות

טבלה 3: מענקי ERC בתחום בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה

#	Proposal	Researcher	Host Institution	Call
1	Molecular Robots Exhibiting Collective Behaviours	Ido Bachelet	Bar Ilan University	Starting Grant
2	Large Scale Privacy-Preserving Technology in the Digital World - Infrastructure and Applications	Yehuda Lindell	Bar Ilan University	Starting Grant
3	Computers Arguing with People	Sarit Kraus	Bar Ilan University	Advanced Grant
4	Information-optimal machine learning	Elad Eliezer Hazan	Technion	Starting Grant
5	Scaling Up Reinforcement Learning: Structure Learning, Skill Acquisition, and Reward Shaping	Shie Mannor	Technion	Starting Grant
6	Programming with Millions of Examples	Eran Yahav	Technion	Consolidator Grant
7	Rapid parsimonious modelling	Alexander Bronstein	Technion	Starting Grant
8	Mechanism Design for Data Science	Moshe Tennenholtz	Technion	Advanced Grant
9	Programming with Big Code	Eran Yahav	Technion	Proof of Concept
10	Non-Rigid Shape Reconstruction and Deformation Analysis	Ron Kimmel	Technion	Advanced Grant
11	Hand pose and gesture analysis for next generation device interaction	Ron Kimmel	Technion	Proof of Concept
12	from SPArSity to DEep learning	Raja Giryes	Tel Aviv University	Starting Grant
13	Understanding Deep Face Recognition	Lior Wolf	Tel Aviv University	Consolidator Grant
14	Reconstructing Ancient (Biblical) Israel: The Exact and Life Sciences Perspective	Israel Finkelstein	Tel Aviv University	Advanced Grant
15	The new flow of news : how social network sites transform news organization and citizens political behavior	Shira Dvir Gvirsman	Tel Aviv University	Starting Grant
16	Supervised Verification of Infinite-State Systems	Sharon Shoham Buchbinder	Tel Aviv University	Starting Grant
17	Mob Data Sourcing	Tova Milo	Tel Aviv University	Advanced Grant
18	Fast Filtering for Computer Graphics, Vision and Computational Sciences	Raanan Fattal	The Hebrew University	Starting Grant
19	Practically Relevant Theory of Deep Learning	Shai Shalev-Shwartz	The Hebrew University	Starting Grant
20	Statistical learning and L2 literacy acquisition: Towards a neurobiological theory of assimilating novel writing systems	Ram Frost	The Hebrew University	Advanced Grant
21	Closing the Loop between Understanding and Effective Treatment of the Basal Ganglia and their Disorders	Hagai Bergman	The Hebrew University	Advanced Grant
22	Natural Language Programming: Turning Text into Executable Code	Reut Tsarfaty	The Open University	Starting Grant
23	A Theory for Understanding, Designing, and Training Deep Learning Systems	Ohad SHAMIR	Weizmann Institute	Starting Grant
24	Learning to read the code of large neural populations	Elad Schneidman	Weizmann Institute	Starting Grant
25	Clouds and Precipitation Response to Anthropogenic Changes in the Natural Environment	Ilan Koren	Weizmann Institute	Starting Grant
26	Liberating Programming	David Harel	Weizmann Institute	Advanced Grant

» חוזקות וחולשות של ישראל בתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה לפי כמות הפרסומים

על מנת לזהות את התחומים בהם לישראל יכולת להוביל ואת התחומים בהם נדרש שיפור במספר הפרסומים האקדמיים, בוצע ניתוח תוצאות ממאגר מידע סקופוס לפי מילות מפתח אופייניות לתחום הבינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה תוך חיתוך עם מגוון קטגוריות, תת-קטגוריות, שילוב תחומים והשוואה למדינות שונות.

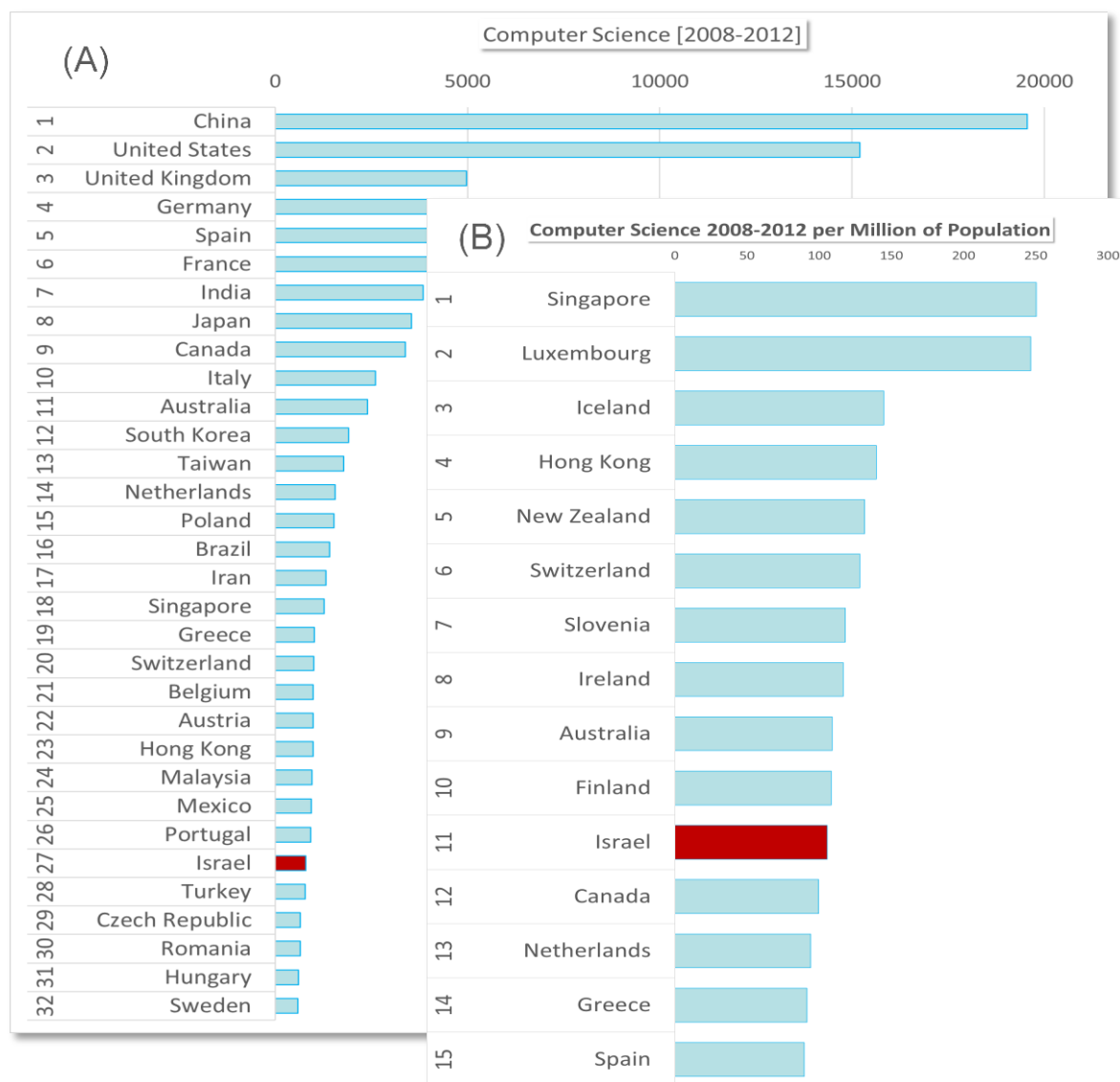
זוהו מילות מפתח עיקריות, אשר בחינתם בתוך הקטגוריה Computer Science הקיימת במאגר, הניבה את התוצאות המדויקות ביותר בהתייחס לתחום הבינה המלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה:

- "artificial intelligence"
- "big data"
- "computer vision"
- "data analytics"
- "data science"
- "deep learning"
- "machine learning"

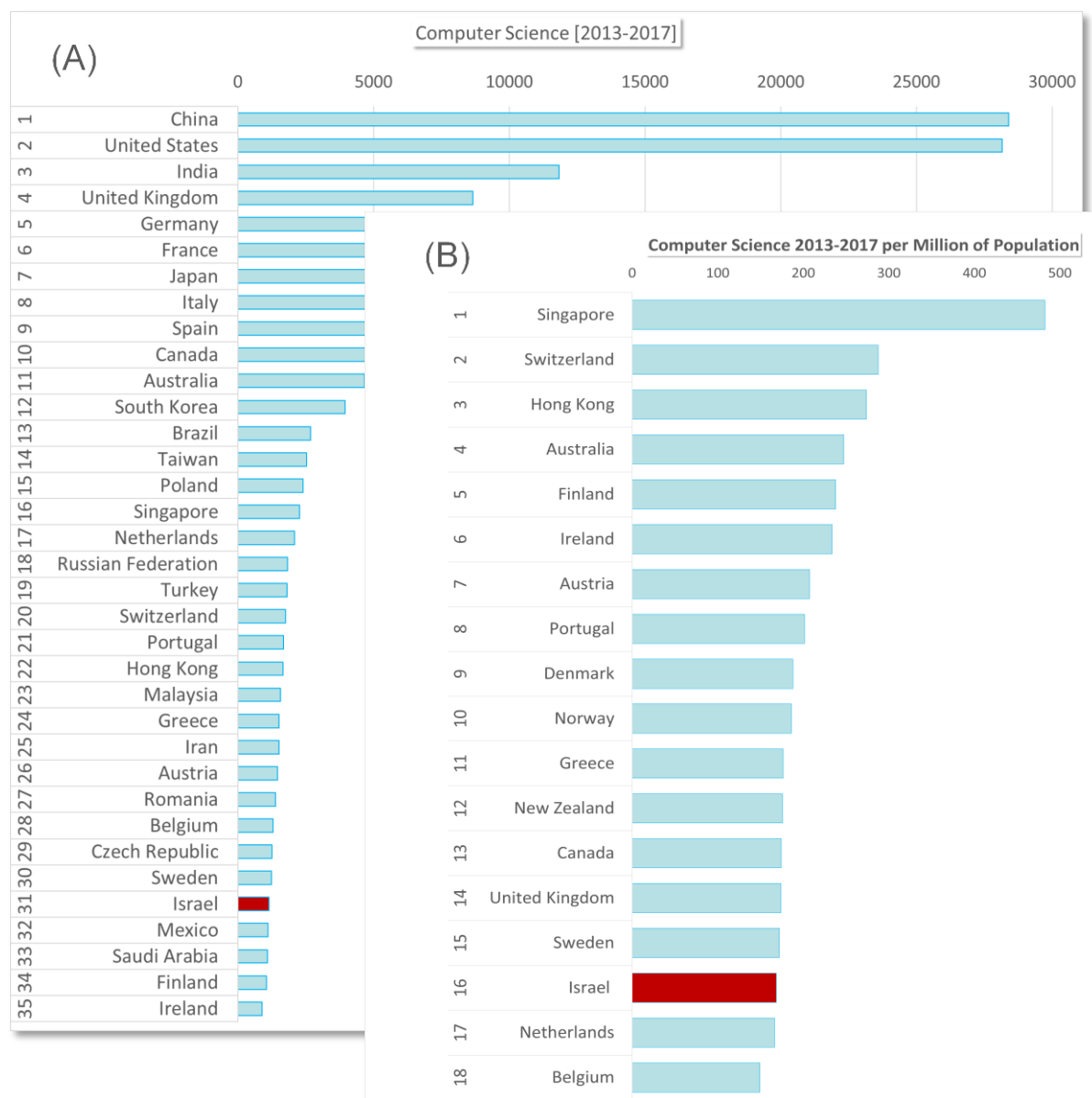
סך הפרסומים הישראליים שהתקבלו בחיפוש של לפחות אחת ממילות המפתח בשילוב עם קטגוריית Computer Science בחמש השנים שבין שנת 2008 ל-2013 הנו 805 מתוך קרוב ל-85,188 פרסומים, תרומה של 0.9% לכלל הפרסומים בתקופה זו. מתוך איור 13 ניתן לראות, כי סין וארה"ב ממוקמות במקומות הראשונים עם כ-40% ממספר הפרסומים העולמית בשנים שבדקו. ישראל ממוקמת בעשירייה השלישית עם מספר פרסומים דומה לפורטוגל, מלזיה, טורקיה ומקסיקו. כאשר מנרמלים את מספר הפרסומים לנפש, מתגלה כי ישראל ממוקמת על סף העשירייה הפותחת של המדינות המובילות עם יותר מ-105 פרסומים למיליון נפש, יחד עם מדינות כמו אוסטרליה, קנדה, אירלנד ופינלנד. מעניין לציין, כי בפרסומים לנפש, סין וארה"ב יורדים למקומות נמוכים יותר ומשאירים את ההובלה לסינגפור, הונג קונג ושווייץ.

כאשר בוחנים את המצב בחמש שנים אחרונות 2013-2017, ניתן לראות כי ישראל יורדת מעט גם בדירוג לפי מספר הפרסומים המתקבלים עפ"י החיפוש המוגדר, אך גם בדירוג לפי מספר הפרסומים לנפש. מתוך איור 14 בולט, כי במספר הפרסומים לנפש, ישראל עוברת מהעשירייה המובילה לאמצע העשירייה השנייה ומדינות כמו בריטניה, נורבגיה ודנמרק עוברות את ישראל במספר הפרסומים. עם זאת, חשוב לשים לב כי מספרי הפרסומים בתוך העשירייה השנייה קרובים וכאשר בוחנים את מצבה של ישראל לעומת שאר המדינות יש לבחון את המגמה ולא להתייחס לדירוג בלבד.

איור 13: דירוג המדינות לפי מספר פרסומים (A) ומספר פרסומים למיליון נפש (B) - 2008-2012 בתחום מדעי המחשב בחיפוש לפי מילות מפתח נבחרות

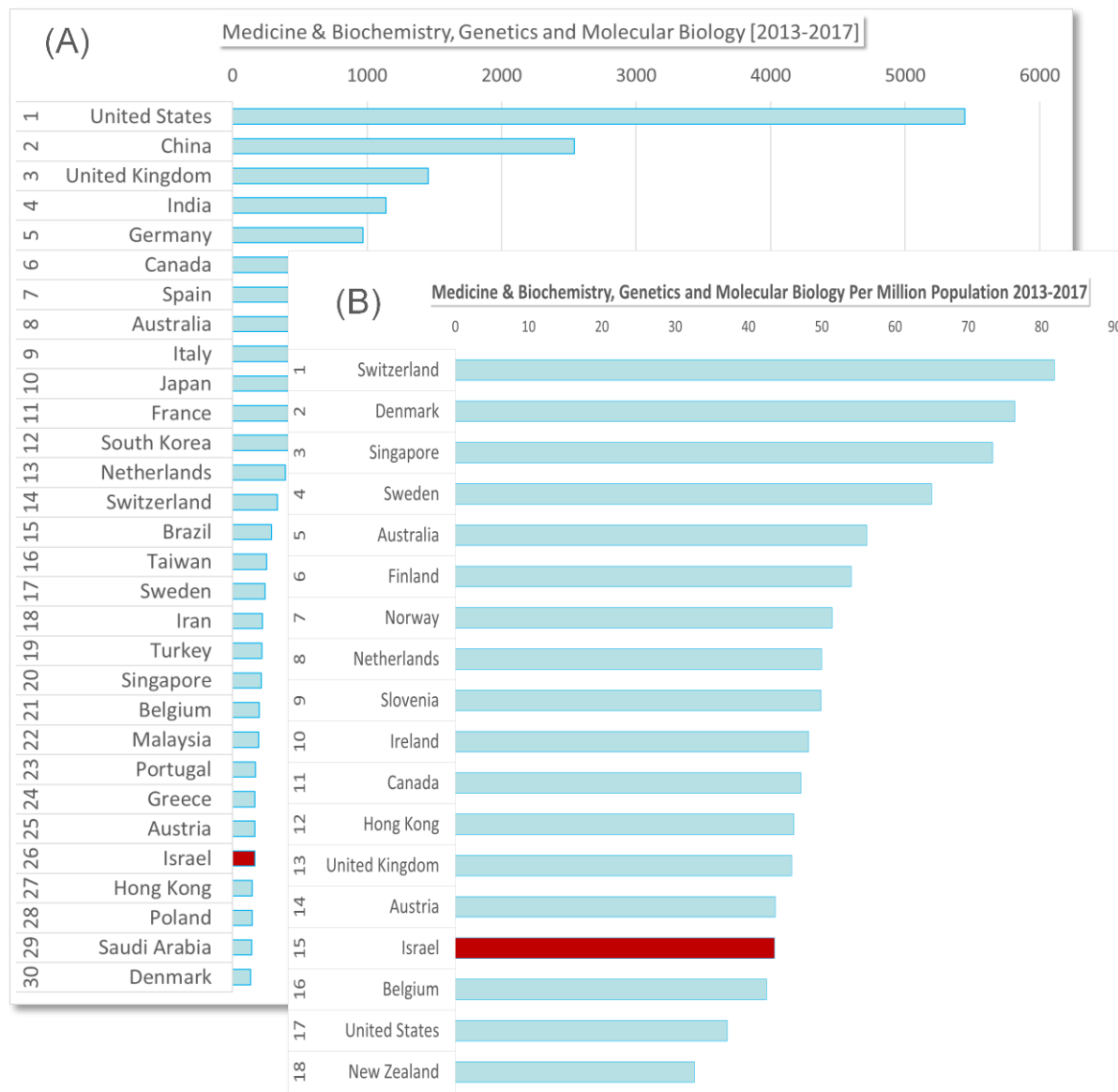


איור 14: דירוג המדינות לפי מספר פרסומים (A) ומספר פרסומים למיליון נפש (B) - 2013-2017 בתחום מדעי המחשב בחיפוש לפי מילות מפתח נבחרות



מתוך איור 15 רואים שכאשר משלבים את הפרסומים שהתקבלו בקטגוריית Computer Science עם קטגוריית שנים אחרונות, ישראל ממוקמת על סף העשירייה השנייה בדירוג לפי מספר פרסומים, עם 165 פרסומים המהווים 1% מסך הפרסומים בתקופה זו. גם לפי מספר הפרסומים לנפש, ישראל ממוקמת על סף העשירייה הראשונה עם 44 פרסומים יחד עם שבדיה, בריטניה, קנדה ודנמרק בעלי מספר פרסומים דומה. יש לציין, כי בחמש השנים האחרונות חלה ירידה במיקום של ישראל (26) לעומת מיקומה בחמש השנים שבין 2008 ל-2012 (20). על כן ניתן לציין, כי בתחומים הנושקים לרפואה וביולוגיה, לפי מספר הפרסומים לנפש ישראל קרובה למדינות המובילות בתחום.

איור 15: דירוג המדינות לפי מספר פרסומים (A) ומספר פרסומים למיליון נפש (B) - 2013-2017 בתחום רפואה, ביוכימיה וביולוגיה בחיפוש לפי מילות מפתח נבחרות



טבלה 4 מסכמת את החוזקות והחולשות של ישראל לפי מספר הפרסומים בקטגוריות השונות לפי מילות המפתח הנבחרות, האופייניות לתחומי הבינה המלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה. הטבלה מפרטת את דירוגה של ישראל בתחום בחמש השנים שבין 2008 ל-2012 ובחמש השנים האחרונות, בין 2013 ל-2017, כאשר לצד הדירוג מופיע גם מספר הפרסומים ותרומת ישראל לסך הפרסומים (אחוז מכלל הפרסומים בתחום). תחומים בהם לישראל השפעה הגבוהה מ-1% על כלל הפרסומים מודגשים ואילו הצבע הירוק מציין תחומים שבהם המיקום של ישראל עלה בחמש השנים האחרונות. בתחום מדעי המחשב, ניתן לראות פירוט לפי תת תחומים, כאשר יש לציין כי קיימים מספר תת תחומים בהם ישראל נמצאת בין המדינות המובילות בתחום דוגמת קריפטולוגיה ומערכות מרובות סוכנים (Multi agents). ניתן להבחין כי דווקא בתחום עיבוד תמונה, מספר הפרסומים ירד בחמש השנים האחרונות וישראל ירדה בדירוג בתת תחום זה. יש לציין כי בתחום רשתות נוירונים עצביות (Neuron Networks), ניתוח שפה טבעית וביו-אינפורמטיקה נרשמה התקדמות ניכרת בדירוג ישראל והשפעתה על כלל הפרסומים. מתוך הניתוח עולה, כי בתחומים של מדעי הנתונים – נתוני עתק, כריית נתונים ועוד, ישראל מדורגת מתחת למדינות המובילות.

כאשר בוחנים תחומים שונים ממדעי המחשב, לפי מילות המפתח הנבחרות, ניתן לציין כי לישראל תרומה העולה על 1% מכלל הפרסומים בתחומי החקלאות, רפואה וביולוגיה ולימודים הומניים ואמנויות, כאשר בתחומי ההנדסה, פיזיקה וכלכלה, השפעת מספר פרסומים של ישראל על כלל הפרסומים נמוכה מ-0.5%.

טבלה 4: הדירוג של ישראל בתחומים ותת תחומים שונים

Discipline	Sub-Discipline	[2008-2012]			[2013-2017]		
		Place	Number of Publications	Percentage of total	Place	Number of Publications	Percentage of total
Computer Science	Cryptology	15-20	9	1.2	10-15	38	2.4
	Multi-agents	15-20	16	2	20-25	20	1.3
	Artificial Intelligence	25-31	466	0.9	25-30	777	1
	Computer Sc. total	25-30	805	0.9	30-35	1150	0.8
	Computer vision	20-25	254	1.1	30-35	181	0.7
	Machine Learning	15-20	108	1.3	30-35	132	0.8
	Image Processing & Pattern Recognition	20-25	68	1.2	30-35	111	0.8
	Neural Networks	35-40	16	0.4	30-35	56	0.6
	NLP	45-50	3	0.2	30-35	23	0.7
	Bioinformatics	45-50	3	0.3	30-35	18	0.8
	Data Sets/ Big Data	25-30	41	0.8	40-45	87	0.3
	Data Mining	30-35	18	0.6	40-45	49	0.4
	Info. Management	35-40	15	0.5	40-45	23	0.5
	Robotics	30-35	39	0.6	35-40	31	0.4
Agricultural & Biological Sci.		10-15	29	2.1	20-25	47	1.4
Arts & Humanities		25-30	10	1	20-25	21	1.2
Medicine & Biochemistry, Genetics and Molecular Biology		15-20	103	1.3	25-30	165	1
Social Studies		20-25	28	0.9	30-35	53	0.7
Environmental Studies		20-25	14	1.1	30-35	22	0.7
Engineering		25-30	185	0.7	35-40	234	0.5
Decision Making		25-30	16	0.7	40-45	36	0.4
Physics & Planetary Studies		30-35	18	0.4	40-45	41	0.3
Economy & Business		30-35	9	0.3	45-50	18	0.5

◀ ניתוח פטנטים

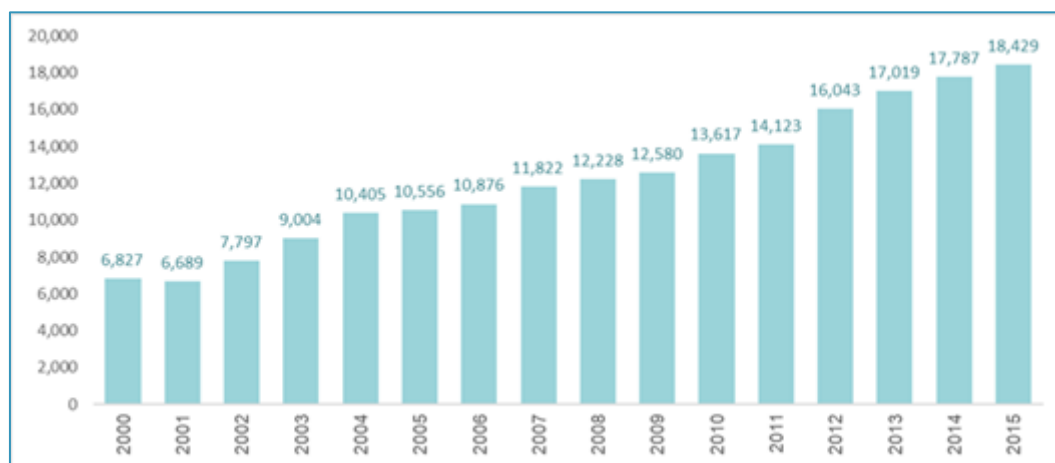
» סקירת פטנטים בעולם לפי ה-OECD

על מנת לאמוד ולאפיין את היקף הפעילות ההמצאתית הישראלית בתחום ה-AI, במחקר זה נעשה שימוש בנתונים הנסמכים על ניתוח משפחות פטנטים ובקשות ייחודיות לפטנט. המצאה ייחודית לפטנט הינה מדד לתיאור היקף הפעילות ההמצאתית של ממציאים (inventors) או מגישים (assignees/applicants) ממדינה מסוימת הנבנה על סמך מידע ממשפחות פטנטים. מטרתו של המדד היא לנטרל כפילויות בספירה של בקשה זהה כתוצאה מהגשתה במשרדי פטנטים שונים בעולם או מהכלה של תוכן טכני ודיני קדימה זהים. המדד משקף ספירה בודדת של בקשה לפטנט לפי התאריך המוקדם ביותר בו היא הוגשה במשפחה, ללא תלות במסלול ההגשה (בקשה לאומית, אזורית או PCT בשלב בינלאומי). לפני שתתאר בפירוט את מאפייני הפעילות ההמצאתית הישראלית בתחום ה-AI באמצעות מתודולוגיית ההמצאות הייחודיות, נבחן באופן השוואתי את מעמדה של ישראל ביחס

לקבוצת המדינות המפותחות על-ידי בקשות לפטנט שהוגשו במסגרת משפחת הפטנטים IP5 (חמשת משרדי הפטנטים הגדולים בעולם: משרד הפטנטים האמריקאי, משרד הפטנטים האירופי, משרד הפטנטים הסיני, משרד הפטנטים היפני ומשרד הפטנטים הקוריאני).

איור 16 מתאר את מספר ההמצאות הקשורות ל-AI שהוגשה עבורן בקשה לפטנט ב-IP5 בין השנים 2015-2000. כפי שניתן לראות מהאיור, גודל משפחת פטנטים זו צמח בכ-6% בממוצע בכל שנה בשנים 2015-2000. גידול זה הוא כפול ממוצע הגידול השנתי בפטנטים בכל התחומים. בשנת 2015 הוגשו ב-P5 כ-18,000 בקשות של משפחות פטנטים הקשורים ל-AI. 62% מהבקשות לפטנטים בשנים 2015-2010 היו של ממציאים מיפן, קוריאה וארה"ב (OECD, 2017).²⁴

איור 16: מספר בקשות פטנטים הקשורים ל-AI ב-P5 (5 משרדי הפטנטים המובילים בעולם) בשנים 2015-2000



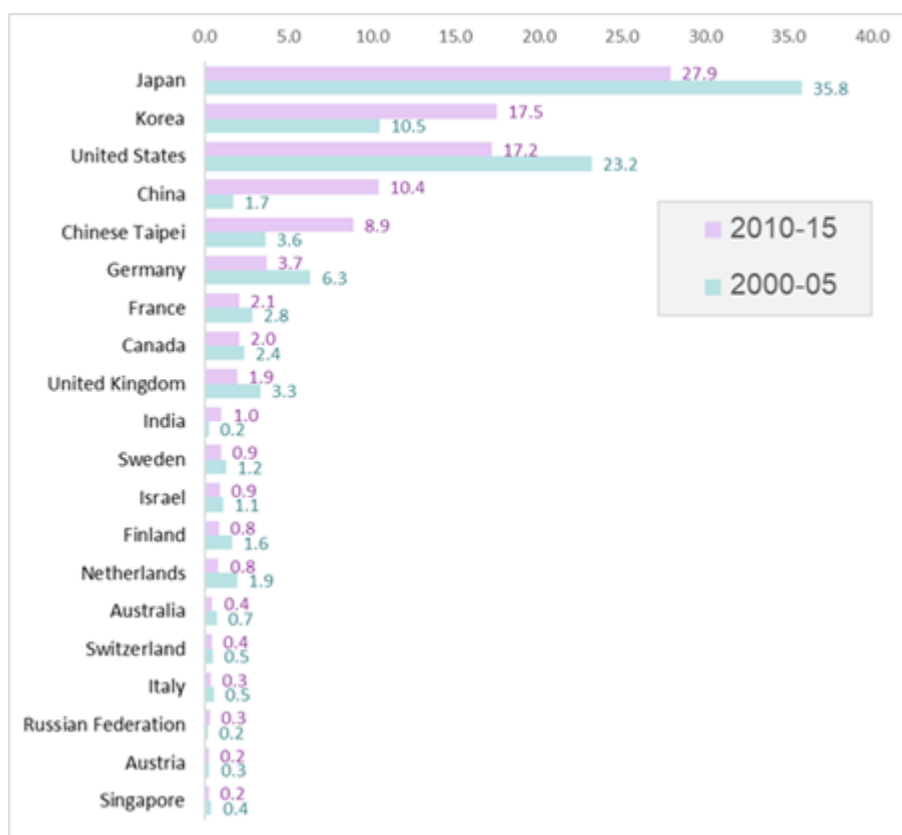
מקור: (OECD, 2017)

חלק משמעותי מכלל הבקשות לפטנטים של יפן, קוריאה וארה"ב הם פטנטים הקשורים לנושאי AI. ביפן היו פטנטים אלו כ-36% מכלל הבקשות לפטנטים בשנים 2015-2010, וכ-28% מכלל הבקשות לפטנטים בשנים 2005-2000. בסין חל זינוק בבקשות לפטנטים הקשורים לתחום ה-AI מ-1.7% ל-10.4% מכלל הפטנטים בשתי תקופות זמן אלו. **בישראל שיעור הבקשות לפטנטים הקשורים לנושאי AI עמד על כ-1% בשנים 2005-2010.**

איור 17 מציג את שיעור הבקשות לפטנטים הקשורים ל-AI מתוך סך הפטנטים במדינות נבחרות בשנים 2005-2000 ו-2015-2010:

²⁴ קיים קושי במדידת התפתחות טכנולוגיות AI בגלל גבולות מטושטשים בין טכנולוגיות AI וטכנולוגיות אחרות. ה-OECD משתמש בקלסיפיקציית פטנטים בינלאומית (IPC) לפי המתודולוגיה המתוארת אצל Inaba & Squicciarini (2017). (Inaba & Squicciarini, 2017).

איור 17: שיעור בקשות פטנטים הקשורים ל-AI ב-P5 (5 משרדי הפטנטים המובילים בעולם) מתוך סך הפטנטים ב-P5 של מדינות נבחרות בשנים 2005-2000 ו-2010-2015



מקור: (OECD, 2017)

איור 18 מציג את מספר הבקשות לפטנטים הקשורים ל-AI שהוגשו ב-P5 בשנים 2005-2000 ו-2010-2015 על פי סיווג טכנולוגי:

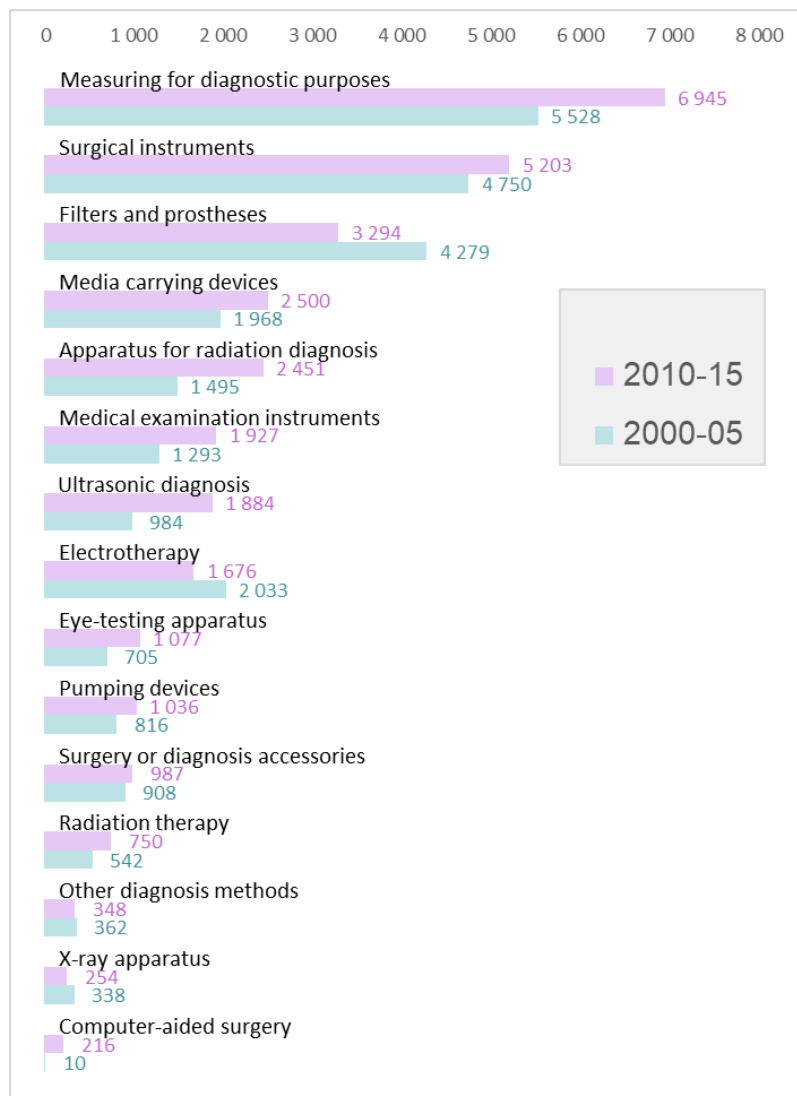
איור 18: מספר בקשות פטנטים ב-P5 הקשורים ל-AI בשנים 2000-2005 ו-2010-2015 לפי טכנולוגיות:



מקור: (OECD, 2017)

איור 19 מציג את מספר הבקשות לפטנטים ב-P5 הקשורים ל-AI ב-10 טכנולוגיות רפואיות מובילות בשנים 2015-2010 ו-2005-2000.

איור 19: מספר בקשות פטנטים ב-P5 הקשורים ל-AI ב-10 טכנולוגיות רפואיות מובילות:



מקור: (OECD, 2017)

» סקירת פטנטים בישראל

נתונים ומתודולוגיה

בסיס הנתונים עליו מתבסס המחקר הוא PATSTAT (Worldwide Patent Statistical Database), בסיס נתונים גולמי של משרד הפטנטים האירופי (EPO) הכולל מידע על בקשות לפטנטים ופטנטים רשומים בכ-100 משרדי פטנטים בעולם. בסיס הנתונים מאפשר לאחזר את כל הבקשות של ממציאים ומבקשים ישראלים (וכל לאום אחר) שפורסמו החל משנת 1978 (עבור מספר מדינות, קיימים נתונים משנת 1920). ה-EPO מעדכן את הנתונים פעמיים בשנה (אפריל ואוקטובר) והגרסה המצויה ברשות מוסד נאמן היא גרסת אוקטובר 2016. מערכת PATSTAT מקושרת למספר בסיסי נתונים תומכים. בסיסי נתונים אלו סופקו למוסד נאמן על ידי החטיבה לניתוח כלכלי וסטטיסטי (EAS) בארגון ה-OECD ועל ידי האוניברסיטה הקתולית לובן בבלגיה. בסיסי נתונים נוספים, המתמקדים במגישים ישראלים פותחו או שופרו על ידי חוקרי מוסד נאמן. בסיסי הנתונים התומכים מספקים

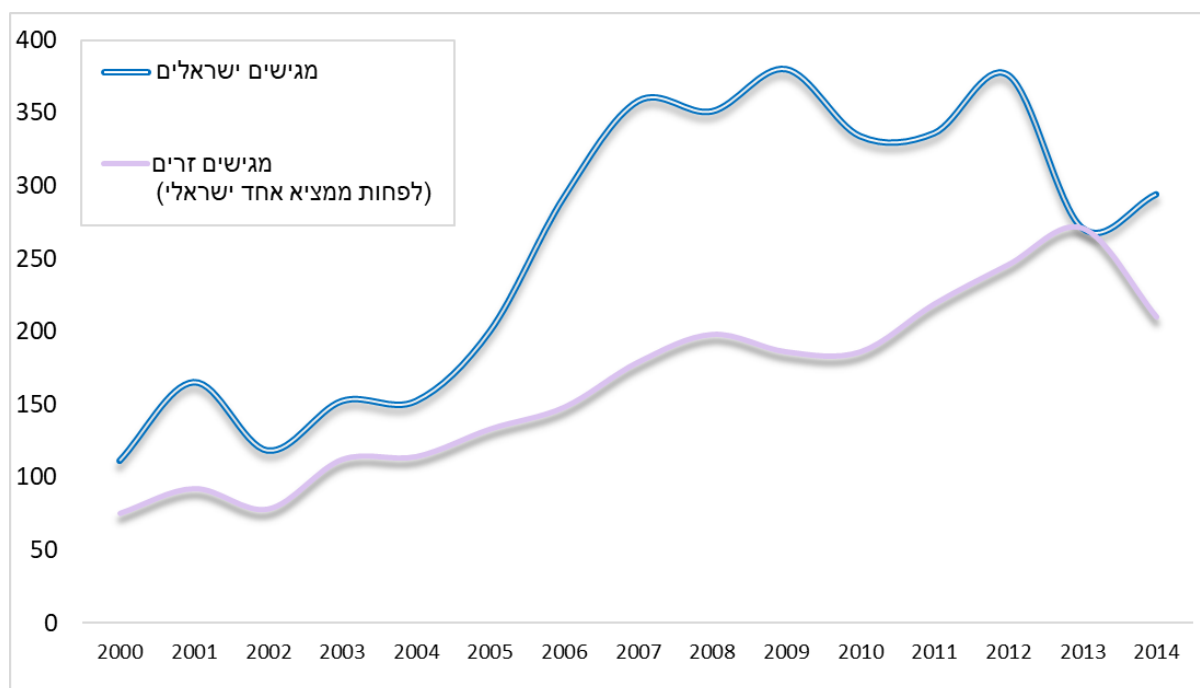
שכבות מידע נוספות וחשובות מאוד (הרמוניזציה של שמות מגישים, שיוך סקטוריאלי, שיוך מדינתי משופר, מידע גיאוגרפי וכו') על מאפייני המגישים ומשפרים מאוד את יכולת אחזור, חיתוך, ניתוח הנתונים ובניית מדדים מורכבים.

לצורך אחזור הנתונים נעשה שימוש באותה השיטה בה משתמש ה-OECD, קרי קלסיפיקציית פטנטים בינלאומית (IPC) לפי המתודולוגיה המתוארת אצל (Inaba & Squicciarini, 2017). Inaba & Squicciarini).

ממצאים

איור 20 מתאר את סך כל בקשות ייחודיות בתחום ה-AI עבור מגישים ישראלים ומגישים זרים. כפי שניתן לראות מהאיור, סך כל הבקשות הייחודיות לפטנטים בתחום ה-AI עבור מגישים ישראלים עלה בממוצע בכ-10% בשנה בין השנים 2000-2014. סך כל בקשות ייחודיות בתחום ה-AI עבור מגישים זרים (לפחות ממציא אחד ישראלי) עלה אף הוא בשיעור דומה.

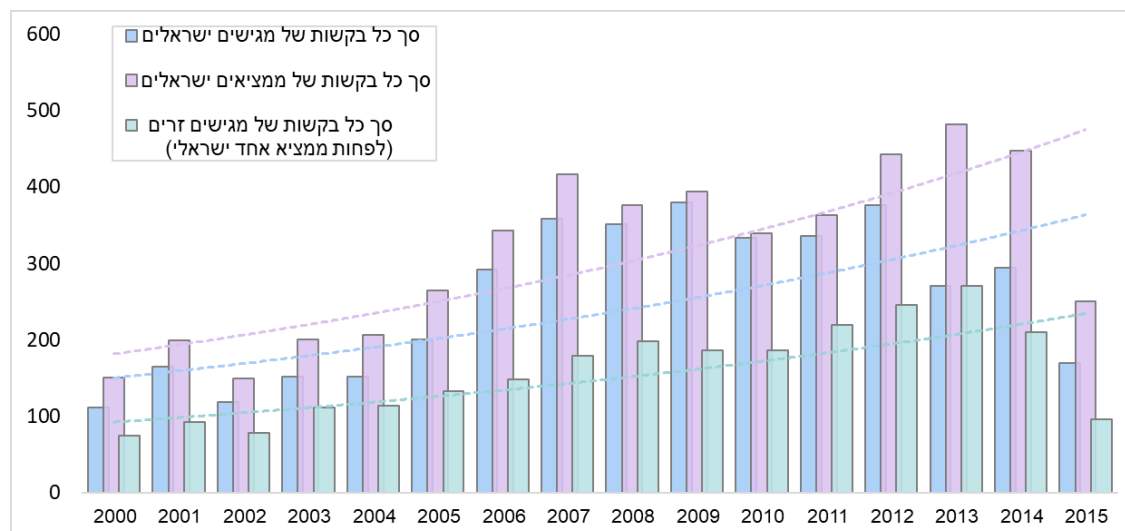
איור 20: סך כל בקשות ייחודיות בתחום ה-AI עבור מגישים ישראלים ומגישים זרים (לפחות ממציא אחד ישראלי)



מקור: עיבוד מיוחד של מוסד שמואל נאמן לנתוני PATSTAT

באיור 21 ניתן לראות את מגמת העלייה הרב שנתית בבקשות מגישים ישראלים, ממציאים ישראליים ומגישים זרים (לפחות ממציא ישראלי אחד):

איור 21: סך כל בקשות ייחודיות בתחום ה-AI עבור ממציאים ישראלים, מגישים ישראלים ומגישים זרים (לפחות ממציא אחד ישראלי)



מקור: עיבוד מיוחד של מוסד שמואל נאמן לנתוני PATSTAT

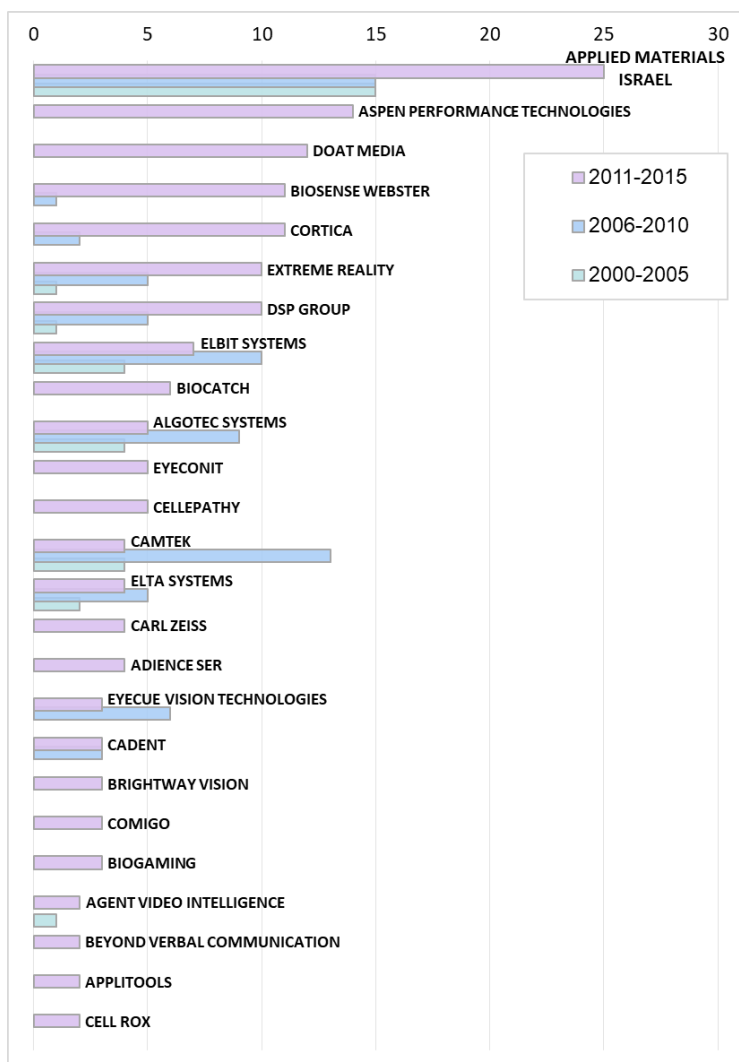
חמש החברות הישראליות הבולטות בבקשות ייחודיות לפטנט בתחום ה-AI בשנים 2000-2015 מופיעות בטבלה 5.

טבלה 5: חמש החברות הישראליות הבולטות בבקשות ייחודיות לפטנט בתחום ה-AI בשנים 2000-2015

Company	Sector	Stage	Established	No. of Employees
Applied Materials Israel	Semiconductors: Fabrication & Testing	-	1991	1400
Technology: Testing, Integrated Control Systems Hardware, Computer Based Training (CBT)				
Aspen Performance	Internet: Internet Applications	R&D	2003	5
Technology: Suite of interactive applications that consist of easy to use software modules designed to stimulate the brain's ability related to reasoning, problem solving, implicit learning, spatial orientation the working, visual and semantic memories as well as to enable an effortless and quick learning of alphabetical languages.				
DoAT Media (Everything.me)	Communications: Mobile Applications	R&D	2010	36
Technology: The company's algorithms combine machine learning, statistical modeling, and domain knowledge expertise to identify specific life scenarios. Within these contexts Everything.me matches users' needs with specific content on their phones, as well as native and web apps.				
Remarks: Ceased to Operate Q3/2015				
Biosense Webmaster	Life Sciences: Medical Devices	R&D	1993	50
Technology: Cardiac Electrophysiology Mapping and Ablation System. The system includes an electromagnetic micro-catheter and a locating system positioned outside the patient's body.				
Remarks: Acquired by Cordis Corp. (a Johnson & Johnson subsidiary)				
Cortica	IT & Enterprise Software: Design & Development Tools	Revenue Growth	2007	120
Technology: Cortica's technology, based upon the mammal cortex is utilized to build products impacting many industries				

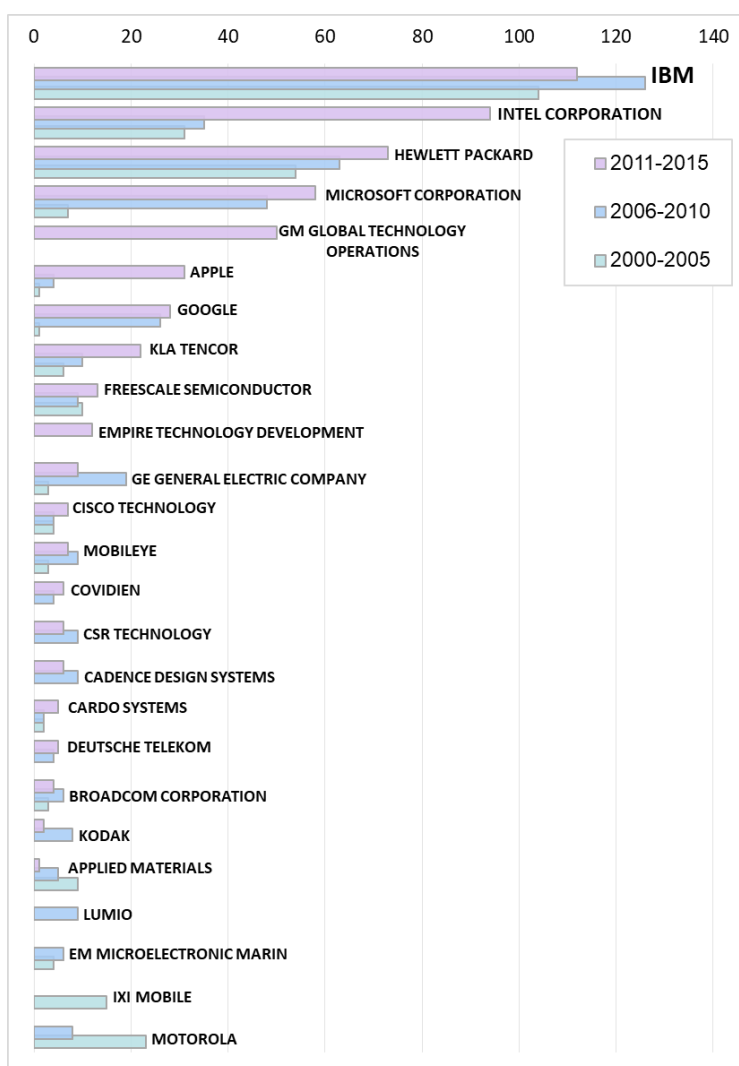
איור 22 מציג את החברות הישראליות הבולטות בבקשות ייחודיות לפטנטים בתחום ה-AI בשנים 2000-2015, ואיור 23 מציג את החברות הזרות הבולטות בבקשות ייחודיות לפטנטים בתחום ה-AI באותה התקופה:

איור 22: החברות הישראליות הבולטות בבקשות ייחודיות לפטנטים בתחום ה-AI בשנים 2000-2015



מקור: עיבוד מיוחד של מוסד שמואל נאמן לנתוני PATSTAT

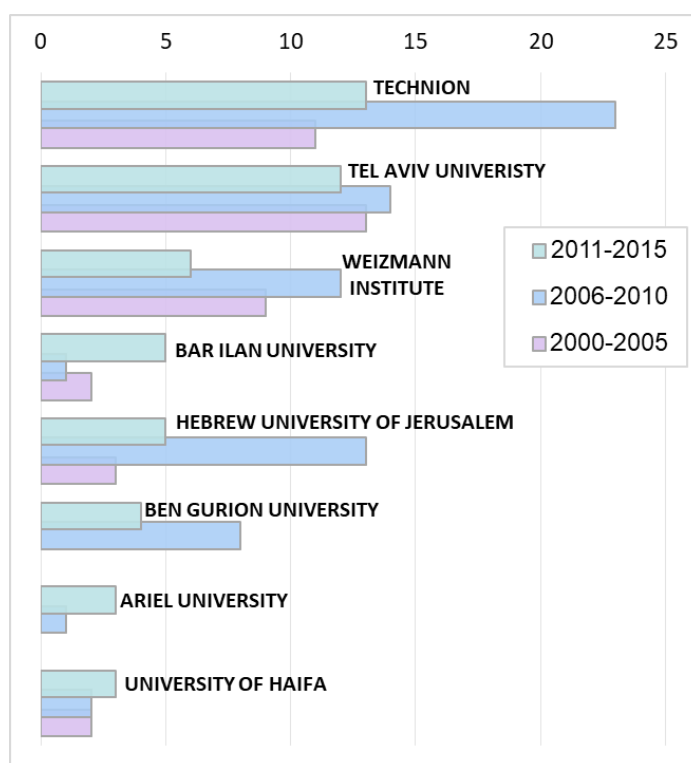
איור 23: החברות הזרות הבולטות בבקשות לפטנטים בתחום ה-AI בשנים 2000-2015



מקור: עיבוד מיוחד של מוסד שמואל נאמן לנתוני PATSTAT

איור 24 מציג את הגשות הפטנטים של האוניברסיטאות בישראל. מבין האוניברסיטאות בישראל הטכניון הוא המוביל במספר הבקשות לפטנטים בתחום ה-AI בשנים 2000-2015, עם 47 הגשות. לאוניברסיטת תל-אביב 39 בקשות באותה התקופה ולמכון ויצמן 27 הגשות.

איור 24: בקשות ייחודיות לפטנט בתחום ה AI עבור אוניברסיטאות בשנים 2000-2015

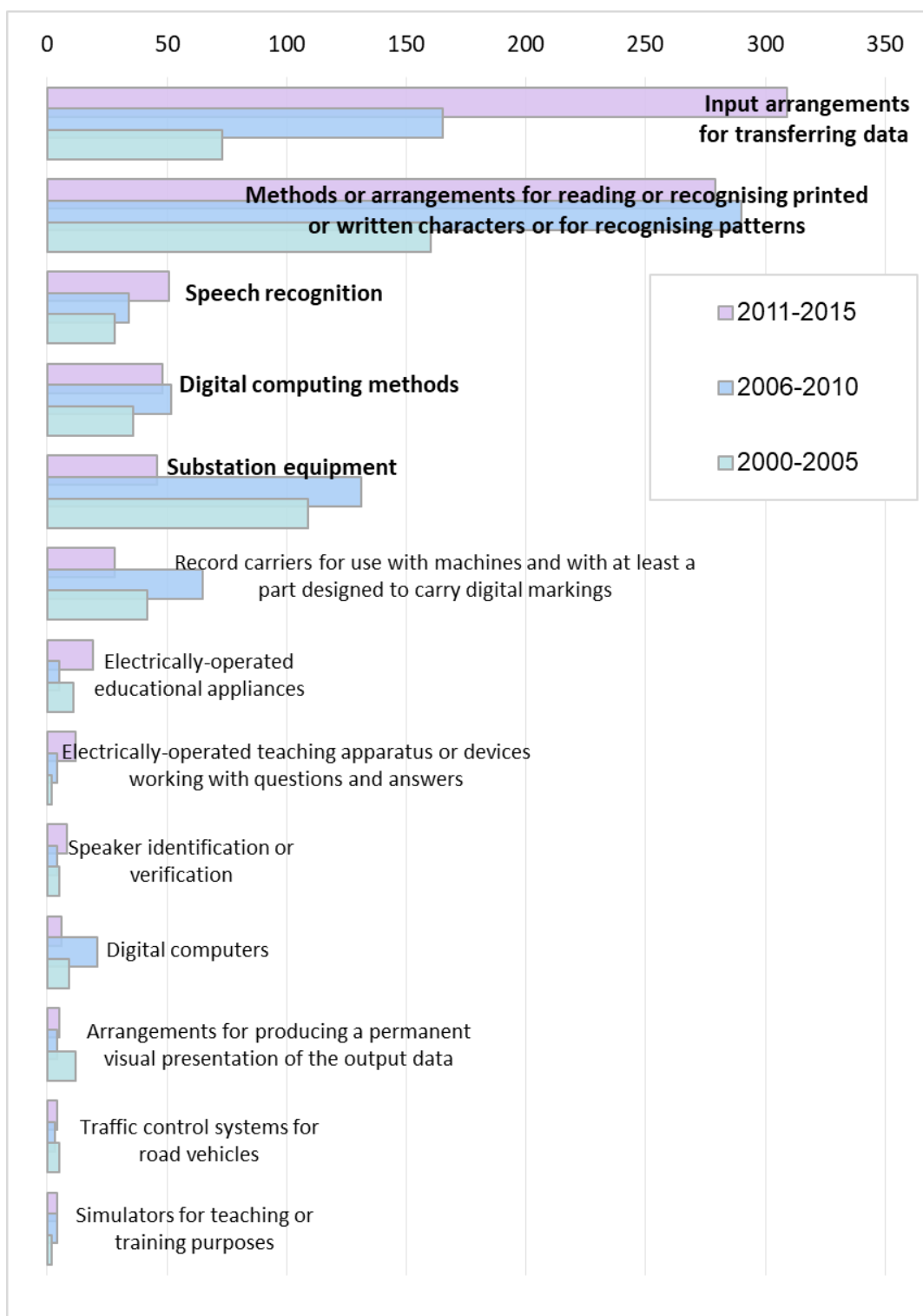


מקור: עיבוד מיוחד של מוסד שמואל נאמן לנתוני PATSTAT

איור 25 מציג בקשות ייחודיות לפטנטים של הסקטור העסקי הישראלי (חברות ישראליות) לפי טכנולוגיות. בחמש השנים האחרונות שנבדקו (2015-2010) הטכנולוגיה המובילה במספר בקשות ייחודיות לפטנטים היא Input arrangements for transferring data, המתייחסת לעיבוד קלט בצורה שניתנת לטיפול על ידי המחשב (כלומר קשורה לממשק מחשב). כמחצית מהגידול במספר הבקשות לפטנטים בטכנולוגיה זו לעומת השנים 2010-2006 מגיע מתשע החברות המצוינות בטבלה 6. ניתן לראות שחלק גדול מהחברות עוסקות ב-Computer Vision. הטכנולוגיה של זיהוי כתב גם היא טכנולוגיה מובילה במספר הבקשות הייחודיות לפטנטים של חברות ישראליות לאורך כל התקופה שנבדקה.

הטכנולוגיה של זיהוי כתב גם היא טכנולוגיה מובילה במספר הבקשות הייחודיות לפטנטים של חברות ישראליות לאורך כל התקופה שנבדקה.

איור 25: התפלגות בקשות ייחודיות לפטנטים בתחום ה-AI לפי סיווג טכנולוגי של הפטנט, חברות ישראליות



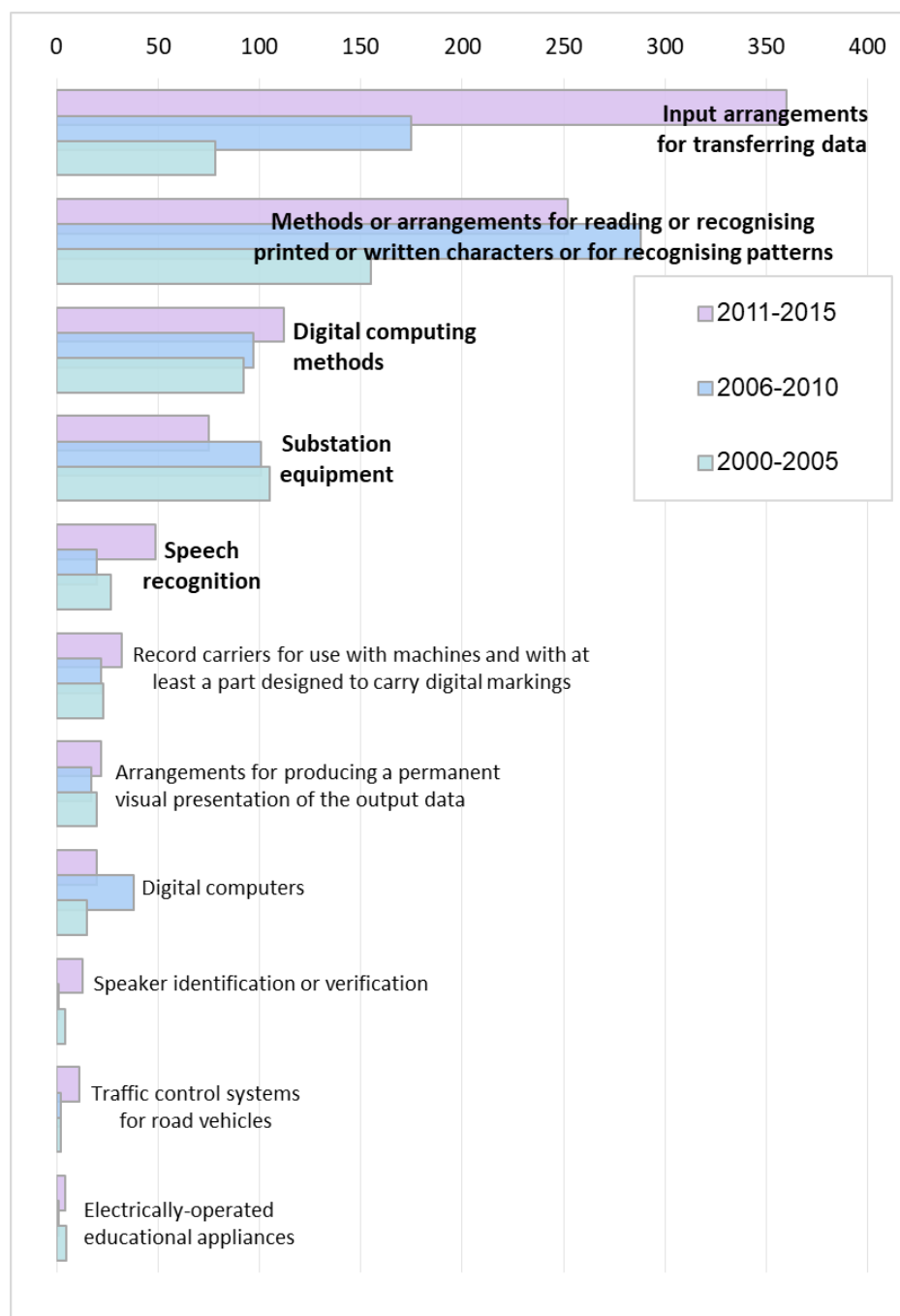
מקור: עיבוד מיוחד של מוסד שמואל נאמן לנתוני PATSTAT

טבלה 6: מספר החברות אשר רשמו את הגידול ביותר במספר בקשות ייחודיות לפטנטים בטכנולוגיות
Input arrangement for transferring data בין השנים 2010-2006 ל-2011-2015

Company	Sector	Stage	Established	No. of Employees
PointGrab	IT & Enterprise Software: Miscellaneous Software	Initial Revenues	2008	40
Technology: Embedding state-of-the-art computer vision into IoT devices to support powerful edge analytics. The advanced technology underlying CogniPoint™ embedded-analytics sensors introduces an innovative fusion of proprietary deep-learning and object-tracking algorithms optimized for low-power ARM processors.				
PrimeSense	Semiconductors: Video, Image & Audio	Revenue Growth	2005	150
Technology: PrimeSense is a leader in Natural Interaction® and 3D sensing , enabling devices to “see” environments and allowing Natural Interaction between people and devices in a simple and intuitive way Remarks: Acquired by Apple				
DoAT Media (Everything.me)	Communications: Mobile Applications	R&D	2010	36
Technology: The company's algorithms combine machine learning, statistical modeling, and domain knowledge expertise to identify specific life scenarios. Within these contexts Everything.me matches users' needs with specific content on their phones, as well as native and web apps. Remarks: Ceased to Operate Q3/2015				
Inuitive	Semiconductors: Memory & Storage	Initial Revenues	2012	52
Technology: The company's core technology is chips optimized for computer vision in mobile devices				
Screenovate Technologies	Communications: Mobile Applications	Initial Revenues	2009	30
Technology: Screenovate's Wireless Device Virtualization (WDV) platform addresses the need to connect devices and screens conveniently and without any compromise on quality, performance, or experience.				
SAP Israel R&D Center (Formerly Gigya)	IT & Enterprise Software: Enterprise Applications		1998	
Technology: Gigya's (now a part of SAP) Connected Consumer Management Suite enables the world's largest brands to understand and connect more closely with today's mobile and socially connected consumers. Our technology helps businesses access, consolidate and manage permission-based identity and behavior data, while providing deep customer insights that turn data into action.				
eyeSight Mobile Technologies	IT & Enterprise Software: Miscellaneous Software	Initial Revenues	2005	50
Technology: eyeSight's Touch Free technology utilizes advanced real-time image processing and machine vision algorithms to track the user's hand gestures and convert them into commands				
BioSense	Life Sciences: Medical Devices	R&D	1993	50
Technology: BioSense developed a Cardiac Electrophysiology Mapping and Ablation System Remarks: Acquired by Cordis Corp. (a Johnson & Johnson subsidiary)				
Biocatch	IT & Enterprise Software: Security	Initial Revenues	2011	65
Technology: Behavioral Profiling, Invisible Biometrics, Cyber Security, Continuous Authentication, Proactive Cognitive Profiling, Cognitive Signature.				

גם בקרב החברות הזרות הטכנולוגיה המובילה היא Input arrangements for transferring data ומיד אחריה זיהוי כתב, כפי שניתן לראות באיור 26:

איור 26: התפלגות בקשות ייחודיות לפטנטים בתחום ה AI לפי סיווג טכנולוגי של הפטנט, חברות בינלאומיות



מקור: עיבוד מיוחד של מוסד שמואל נאמן לנתוני PATSTAT

מקורות:

Inaba, T., & Squicciarini, M. (2017). ICT: A new taxonomy based on the international patent classification, 1–49. <https://doi.org/10.1787/ab16c396-en>

OECD. (2017). OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017: The digital transformation. <https://doi.org/ISBN 978-92-64-26881-4>

4. ניתוח ראיונות

◀ מטרות ומתודולוגיה

לראיונות העומק שערכנו היו מספר מטרות:

- היכרות ראשונית עם תחומי הבינה המלאכותית, מדעי הנתונים והרובוטיקה החכמה בישראל ועם חלק מהעוסקים בתחומים אלו באקדמיה, בתעשייה, בצבא ובשירות בציבורי.
 - קבלת מענה איכותני על שאלות המחקר:
- » מהן הבעיות העיקריות איתן מתמודדים העוסקים בתחומים הרלוונטיים בנושאים כמו כוח-אדם, הכשרות, מחקר ותשתיות.
- » מהם תחומי הידע והסקטורים העסקיים בהם יש לישראל יתרון בתוך התחומים הרחבים של בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה.
- » כיצד ניתן לקדם תחומים אלו בישראל.
- בניית תשתית עבור סקר המיועד לתעשייה.
- הראיונות היו חצי מובנים, ומרביתם נמשכו בין חצי שעה לשעה. חלק מהראיונות בוצעו פנים מול פנים, ואחרים בוצעו באמצעות הטלפון או הסקייפ.
- סה"כ ראיינו כ-60 אנשים. רשימת המראיינים המלאה מופיעה בנספח 6: רשימת מראיינים לדו"ח זה.
- למרות המספר הגבוה של המראיינים, הממצאים בחלק הבא הם בבחינת אינדיקציות בלבד. **בחלק הבא של המחקר ייבדקו אינדיקציות אלו באמצעות שאלון שיועבר למספר גדול של חברות בתחום.**

◀ ממצאים ותובנות מניתוח הראיונות

« הגדרת התחום

ממצא: הגדרות הנושאים אינן ברורות דיין, וקיימים פערים גדולים בין הדרכים השונות בהן אנשים מגדירים את תחומי מידע הנתונים ובינה מלאכותית.

במהלך הראיונות קיבלנו הגדרות רבות ושונות שהבהירו לנו עד כמה קיים חוסר אחידות במונחים הן מסיבות היסטוריות והן מכיוון שמדובר בתחום מולטי-דיסציפלינרי.

להלן ציטוטים של חוקרים שהתבטאו בנושא במסגרת הראיונות:

"המטרה הראשונה של פעילות בנושא היא הגדרת נושא ה-Data Science, ההגדרות בנושא זה כיום הן די מעורפלות. יש צורך לעשות סגמנטציה של התחומים ולהגדיר אותם בצורה ברורה יותר ולייצר תחומים קוהרנטיים קטנים יותר."

"Data Science זה לא משהו חדש. פעם זה היה נקרא Applied Statistics, ואז קראו לו אינטליגנציה מלאכותית, ואז קראו לו Machine Learning, ואז קראו לזה Data Mining, Information Retrieval והיום קוראים לזה Data Science. השיטות והעקרונות המתמטיים הם עדיין אותן שיטות, פשוט יש הרבה יותר כוח חישוב, ולכן אפשר להריץ דברים הרבה יותר כבדים ולקבל תוצאות. לכן אנחנו יכולים היום לראות זיהוי של פנים ללא בעיה בתמונות, אנחנו יכולים לראות תרגום אוטומטי שהוא לגמרי לא מבוסס על מילון ועובד בצורה טובה ואנחנו יכולים לשוחח עם צ'ט בוטס בלי שמעורב בזה אדם. לא רק האלגוריתמיקה, אלא גם המחשבים ו-GPU's מאפשרים לנו את זה. זה תהליך טבעי של התקדמות."

"Data Science היא דיסציפלינה שמורכבת מהרבה תתי דיסציפלינות, והאתגר הוא איך לשלב ביניהן. בעולם החיצוני הרבה פעמים סטטיסטיקאי קלאסי ואיש למידת מכונה לא ידעו לדבר אחד עם השני, כי הז'רגון שלהם הוא אחר, הם קוראים לאותם הדברים בשמות אחרים."

בפרק ההגדרות של דו"ח זה אנו מביאים את ההגדרות בהן השתמשנו אנו במחקר זה.

» תשתיות

תשתיות דאטה

ממצא 1: הדאטה עומד בבסיס הבינה המלאכותית ומדעי הנתונים. מחסור בדאטה מהווה את אחד החסמים המשמעותיים ביותר לפיתוח התחום.

להלן דוגמאות להיגדים בנושא שהתקבלו מחוקרים באקדמיה ומאנשי תעשייה:

"התשתית האמיתית בעולם העתידי היא דאטה. זה עושה את כל ההבדל. מכיוון שהאלגוריתמים יודעים ללמוד על בסיס בסיסי נתונים קיימים, ככל שיש גישות לבסיסי נתונים כך יותר טוב"

"היתרון בתחום הוא למי שיש את הדאטה וכוח חישובי חזק. לתעשייה יש יתרון בשני התחומים. הדברים החדשים שמפתחים באקדמיה בישראל הם יותר בתחום התיאורטי, חדשנות של עבודה עם מעט דאטה. אם היו מנגנונים לפתוח לאקדמיה [מאגרי מידע], אפילו כאלו שלא אפשריים לתעשייה, זה היה מקדם מאוד את המחקר בתחום הבריאות ועד להובלה עולמית"

"בראיה של ישראל – נדרש "להקליט" הכול כדי לייצר זמינות נתונים. אם נצליח לייצר יתרון יחסי, אם נפספס – נעוף הצידה ונהפוך למדינת עולם שלישי"

"יש מחסור בקהילה המקומית ב-datasets מקודדים בעברית"

ממצא 2: ישנם שני מקורות בולטים לדאטה: התעשייה (גופים כמו גוגל, פייסבוק, אמאזון ואחרים) וגופי הממשל. ישנה הסכמה גורפת בקרב המרואיינים שהזכירו את נושא הדאטה לכך שנדרשת התערבות ממשלתית בכל הנוגע להעמדת נתונים ממשלתיים לרשות ציבור החוקרים באקדמיה וחברות ההזנק. חלק מהמרואיינים ציינו שנדרשת התערבות גם עבור גישה לדאטה בתעשייה, אך אחרים סברו שבמקרה הזה לא מדובר בכשל שוק.

להלן מספר היגדים המדגימים גישות אלו:

"המכשלה האמתית היא גישה לדאטה ציבורית. עם חברות פרטיות אפשר להסתדר, אבל אם לא יהיה מיסוד של האפשרות של גופי מחר וחברות להגיע לדאטה ציבורית ניתקע מאחור."

"שיתוף פעולה (בין האקדמיה לתעשייה) סביב נתונים הוא המודל הנכון, כי כשיש שיתוף פעולה סביב נתונים גם הידע עובר."

"היום אם רוצים להעביר מידע לאקדמיה מתחיל דיון למי שייכות זכויות היוצרים, וזה מרתיע את התעשייה"

תובנה 1: נדרש להסדיר פתיחת מאגרי מידע ממשלתיים וציבוריים תוך בניית תשתית טכנולוגית מתאימה, קביעת מודלים לשימוש במאגרי המידע והתייחסות לסוגיות של פרטיות המידע ושקיפותו.

להלן מספר היגדים מתוך הראיונות המתייחסים להמלצה זו:

"אם הממשלה תפתח את הנתונים זה ייתן יתרון על מדינות אחרות בעולם. זה לא אומר שזה יהיה ככה תמיד. בארה"ב למשל, עושים עכשיו צעדים ראשוניים כן לאפשר גישה לנתונים"

"עולם הבריאות הדיגיטלית יכול להתקדם משמעותית אם נמצא דרך לפתוח את הדאטה רגולטורית ותשתיתית. נדרשת תשתית בבתי חולים עם מנועי חיפוש, סימון ואנונימיזציה חזקים, ורגולטורית - הסכמים בין בתי חולים ואקדמיה. המצב כרגע לא מאפשר מחקר ברמה עולמית"

"חייבת להיות חקיקה, אשר מחייבת העברת מידע רפואי של מטופל (עם התחשבות בפרטיות כמובן) למרכז לאומי, שיאפשר נגישות המידע למחקר. כל דבר שלא יהיה במסגרת חקיקה עם סנקציות, לא יעבוד. לא מאמין שבתי חולים וקופות החולים יסכימו להעביר מידע לטובת הכלל. גם בעבודה המשותפת בעבר, כל בית חולים הערים קשיים על מנת שהמידע יישאר אצלו ולא יהיה נגיש החוצה. לכן החקיקה חיונית"

"נדרשת גישה סבירה בצורה בירוקרטית לדאטה ממשלתי. יש מדינות בעולם שכבר עשו את זה. ממשלת איסלנד מיפתה את ה-DNA של האוכלוסייה, והקימה מאגר מידע כתשתית למחקר, פיתוח תרופות וכו'. הם הקימו חברה ממשלתית בנושא (deCODE).²⁵ הנושא נפל במשבר 2008, אבל הוא דוגמא ליוזמה מלמעלה למטה"

רשויות כמו רשות התקשוב הלאומית ופרויקטים כמו 'ישראל דיגיטלית' ו'בריאות דיגיטלית' עוסקים, בין השאר, גם בנושא הנגשת דאטה. במסגרת המחקר שוחחנו עם בכירים במנגנונים אלו. להלן חלק מהפעילויות שהחלו להתבצע בנושא:

רשות התקשוב

"באוגוסט 2016 עברה החלטת ממשלה 1933... עד 2022 כל מאגרי המדינה שאין בהם פגיעה בביטחון המדינה ובפרטיות יהיה פתוחים. הרשות מיפתה את כל מאגרי המידע, והמיפוי נמצא באתר רשות התקשוב²⁶, כולל האם המאגר עומד להיות מוגש ומתי. בשנים הקרובות המשרדים ינגישו את מאגרי המידע. מקימים צוותים של אנשים טכניים, משפטיים ועוד בנושא התממה (Data De-Identification), וכל משרד ידע איך להגן על המידע"

בריאות דיגיטלית

"מהלך שהממשלה עשתה בשנה האחרונה שמיועד לקדם את עולם הבריאות הדיגיטלית כמנוע צמיחה במשק הישראלי. מופו החסמים שמפריעים לארגונים להתפתח, ארגוני בריאות, סטארט-אפים, חוקרים באקדמיה, חברות גדולות, ועל בסיס זה נוצרה תכנית להתמודדות בשילוב כוחות של משרדי ממשלה רלוונטיים על מנת למצוא פתרונות במקומות בהם ניתן.

אחד המהלכים הוא הקמת תשתית למחקר קליני גנטי, מידע גנטי ממתנדבים עם מידע קליני למחקרים אקדמיים או יישומיים. החלטת ממשלה 3709 מפרטת את הנושא הזה.

קיימת בעיית פרטיות. הנחת העבודה אומרת שאין דרך לעשות אנונימיזציה של מידע רפואי פרטני, רק למידע אגרגטיבי שיש לו פחות ערך. הפתרון הוא מספר מעגלים של הגנה, אנונימיזציה מסוימת כמו הסרה של פרטים מזהים ישירים וביצוע מחקרים בסביבות מוגנות ומאובטחות"

תובנה 2: עידוד שת"פ אקדמיה-תעשייה שחלק ממנו הוא נושא העברת דאטה מהתעשייה לאקדמיה ו/או לחברות הזנק.

בין הנושאים אותם נדרש לבדוק: פישוט סוגיות קניין רוחני, תעודוף בקשות לתמיכה שבהן שהדאטה מהווה מרכיב משמעותי ועוד.

להלן מספר היגדים מתוך הראיונות המתייחסים להמלצה זו:

"לעודד תכניות ולתמרץ שת"פ תעשייה-אוניברסיטה סביב שיתופי דאטה ופתיחת דאטה, תוך פתרון של נושאי ק"ן"

"כאשר מדובר במאגדי מגנ"ט, שם מפתחים טכנולוגיות ואין לקוח ספציפי, אפשר לקבל קצת דאטה והמדינה צריכה להוביל ולעודד כאלה"

"מכיוון שבחברה יש הרבה מידע, אך קיים קושי בעיבוד המידע, הוגשה בקשה למגנטון יחד עם קבוצת למידה מותנית חיזוקים (reinforcement learning), מכיוון שהידע שיש בקבוצה ייחודי... צריך לעודד מגנטונים כחלק אינטגרלי של שיתוף פעולה בין האקדמיה לתעשייה."

²⁵ <https://www.decode.com>

²⁶ <https://data.gov.il/dataset/datasetlist>

ישנם מאגרי נתונים ציבוריים הנגישים לכולם, אבל לחברות כמו אמאזון, גוגל ואיביי, יש מאגרי מידע ענקיים שלהם שהן לא חולקות אותם. לפקולטה יש ניסיון רב בשת"פ עם חברות כאלו, כאשר חלק מהשת"פ מוגדר כמתן נגישות לנתונים לצרכי מחקר.

תשתיות מחשוב

ממצא 1: קיימים שני מודלים עיקריים של חומרה: שימוש לוקלי במחשבים עם Graphic Processing Unit (GPU), ושימוש מבוזר בשרתים של חברות המציעות שירותי ענן כמו אמאזון.

ממצא 2: חלק מהמוראיינים מהאקדמיה סבור שלא קיימת בעיה משמעותית של מחסור בכוח מחשוב בכל הנוגע למחקר באוניברסיטאות. אחרים חושבים שניהול מרוכז של משאבי ענן יכול לייעל את השימוש, בעיקר בגלל המודל של תשלום קבוע (חודשי) מול שימוש משתנה בפועל (תשלום פר שעת שימוש).

להלן מספר היגדים שעלו בנושא במהלך הראיונות:

"בקבוצת מחקר צריכים לכל פרויקט מחשב עם GPU, וכל פעם משדרגים והדרישות עולות. זה תלוי בקרנות מחקר. נעזרים גם בתעשייה כמו אינטל וגוגל. זה הכסף שנח להשיג באופן מיידי"

"אין צורך בתשתיות מיוחדות, יש מספיק כסף לצידוד, ומספיק תקציבים, אם כי יש קושי בהשגת דאטה טוב"

"בנושא של כוח מחשוב אין כשל שוק. יש עננים של חברות מסחריות, וסבסוד שלהם יעלה ביוקר בכספי ציבור. זה קשר לקוח-ספק ואין מקום להתערבות"

"היכולת של אוניברסיטאות לעשות דברים בענן לא מספיקה. אם אפשר היה לפתוח אפשרות שימוש בענן לחוקרים זה היה מעולה. למשל - תשלום לפי זמן. ישנם זמנים עם עליות וירידות בשימוש"

"אין בעיה בציוד לעיבוד ומחשוב. עיקר הכסף לתשתיות מחשוב מגיע פנימית מתוך האוניברסיטה... הבעיה העיקרית היא בהשקעה בנושא של ענן, ויש מקום להשקיע פחות בתשתיות ויותר בענן. מודל העבודה על ענן בעייתי יותר ממודל ציוד לתשתיות, היות ובענן יש צורך בתשלום מתמשך, פר שימוש, ואילו בקניית מכונה משלמים פעם אחת. כיום, התעשייה משקיעה פחות במכונות ייעודיות ויותר בשירותי ענן"

כדי להגיע למסקנות בנושא זה נדרש חישוב כלכלי מבוסס על נתוני שימוש במשאבים ועלויות. חישוב כזה לא היה חלק מהמטרות שהוגדרו עברו הראיונות שבוצעו.

ממצא 3: קיים מחסור גובר בכוח מחשוב עבור הכשרות באוניברסיטאות.

ההיגדים הבאים מדגימים חלק מהנאמר בנושא בראיונות:

"רואים צורך להגיע לשלב שסטודנטים בקורס תשתיתי יקבלו גישה לשעות מחשב, GPU וענן, ובפרויקטים שעות בענן או בחוות מחשבים עם GPU's לפרויקטים רציניים. זו תשתית כדי לייצר את הדור הבא בהנדסה ומדעי המחשב."

"מעבדת ההוראה היא אתגר שכל מי שמפתח תכנית לימודים של data science יצטרך להתמודד אתו"

"הנושא של הגרנטים הוא קריטי. צריך אחד מהשניים, או ציוד מחשוב חזק כדי להתחרות עם החברות, או לחילופין שירותי ענן. סטודנט נדרש ל-\$2,000 לחודש למשך שנתיים כדי להשתמש בשירותי הענן של אמאזון. עדיף לקנות מחשב ב-\$6,000. כסף משחק פה תפקיד ויש צורך בציוד או שירותי מחשב"

"הקמה של תשתיות או מעבדות כיום מתחילה לרוב בחבר סגל שדוחף ומשכנע וממשיך דרך תרומה שמגייסת ההנהלה. במערכות לומדות או ב-Big Data באופן כללי צריך תשתיות גדולות. כיום תלויים בתשתיות שבבנקים, במשרד הביטחון וכו'. תשתית מחשוב בסדר גודל של \$10-20M צריכה להגיע מאיזשהו מקור ולשמש למטרה מסוימת. קלסטר של מעבדים גרפיים, כולל תחזוקה שלהם יכול לעלות מעל \$10M. זה לא יכול להיות מותנה בפרויקטים של התרמה. מחסור בתשתיות גורם לבעיות בהכשרה. כשמדובר בציוד אז יש מצבים שחברות נותנות ציוד לאוניברסיטאות כדי להרגיל את הסטודנטים לשימוש בציוד. זה לא קורה כשמדובר בתשתיות כבדות ויקרות יותר."

ממצא 4: עלויות כוח המחשוב עלולות להוות חסם לחברות הזנק וגם לאנשים שמעוניינים להיכנס לתחום באופן עצמאי.

ההיגדים הבאים מדגימים את מה שנאמר בנושא בראיונות:

"החברות הגדולות (Verint, NICE, Checkpoint) יכולות לדאוג לעצמן, אבל הסטארט-אפים צריכים סיוע ממשלתי. רשות החדשנות לא מספיק מקדמת את הנושא. יש עשרות סטארט-אפים שמחפשים מימון. נדרש שהמדינה תשקיע בתחום ה-AI, לא בכסף, אלא בפלטפורמה של שירותי מחשוב בענן. דוגמא לפלטפורמה כזו היא ה-G-Cloud²⁷ באנגליה"

"כדי לאמן מודל של Deep Learning צריך GPU - Graphic Processing Unit, חומרת משחקי מחשב המשמשת לפעולות חישוביות כמו אימון DL. יש מחסור בתשתיות חישוביות. ישנם ספקי מחשוב בענן כמו מיקרוסופט, גוגל ואמאזון, אבל זה עניין יקר. אם היה ענן מסובסד עבור סטארט-אפים או אנשים שרוצים להיכנס לתחום זה היה מוריד חסם רציני"

תובנה 1: נדרשת בדיקה מעמיקה של צרכי כוח המחשוב באוניברסיטאות בפקולטות בהן מתבצעים מחקר והכשרה בנושא בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה במטרה לוודא שצרכי המחשוב עומדים בסטנדרט הנדרש עבור מחקר והכשרה בתחומי החוזק של ישראל.

תובנה 2: נדרשת בדיקה של צרכי כוח המחשוב בתעשייה הישראלית בדגש על חברות קטנות ובינוניות, במטרה לבדוק האם כוח המחשוב מהווה חסם שיש להנמיכו (סקר החברות שהוא חלק מהשלב הבא של מחקר מוסד נאמן יעלה שאלה בנושא בפני החברות בתחום).

תשתיות בתחום הרובוטיקה החכמה

ממצא 1: יש בישראל כוח אדם איכותי בתחום הרובוטיקה (בעיר בתחומי התוכנה), ומספר חברות מצליחות בנישות מסוימות. אבל ההשקעה הגדולה הנדרשת לצורך יצירת תשתית לשימוש האקדמיה והתעשייה בתחום הרובוטיקה מהווה מכשול להתפתחות המחקר והתעשייה.

ממצא 2: חסרה תשתית אנושית וטכנולוגית מכנית הנדסית, והשילוב בין לבין תוכנה ליישומים רובוטיים.

תובנה: נדרשת החלטה ממשלתית במידה ומדינת ישראל רואה בנושא של רובוטיקה חכמה תחום של עדיפות לאומית. יש לקחת בחשבון שמשמעות של החלטה כזו היא השקעה כספית משמעותית בתשתיות מחקר ופיתוח.

להלן מספר היגדים שעלו במהלך הריאיונות המתייחסים לממצא והמלצה לעיל:

"יש בארץ מספר חברות גדולות ומבוססות (כולל גם פעילות אזרחית בחברות ביטחוניות, כמו פיתוח 'טקסיבוט' בתע"א²⁸). בתחום רובוטי בריכות, למשל, ישראל מחזיקה 70% מהשוק (Maytronics²⁹). יש גם סטארט-אפים כמו Memic³⁰ (רובוטים לחדרי ניתוח)"

"רוב החברות הישראליות עושות רכיב שמשולב אחר כך במערכות יותר גדולות. אבל הכסף בתעשייה נמצא במערכות היותר גדולות"

²⁷ <https://www.gov.uk/guidance/the-g-cloud-framework-on-the-digital-marketplace>

²⁸ <http://www.taxibot-international.com>

²⁹ <https://www.maytronics.com>

³⁰ <https://www.memicmed.com>

"לרובוט יש גוף, הוא השילוב של הקוגניציה עם הגוף. איכות הרובוט נמדדת בשילוב. לרובוטים של הונדה (אסימו)³¹ או טויוטה³² או אטלס³³ של בוסטון דינמיקס יש יכולת מוטורית, שעליה מוסיפים AI. אם מתמקדים רק ב-AI צריך רק מחשבים. אם רוצים רובוטים צריך להשקיע... ישראל לא פיתחה יתרון יחסי בתחום האקטואטורים כי אין משאבים, ונדרשת השקעה תשתיתית אדירה. הפתרון הקל הוא AI, זה למעשה קוד, וזה ה-low hanging fruit. בסוף כדי ש-AI יצא מהמחשב צריך אינפוט מהסביבה. בשלב הזה, כדי לעבור מעיסוק תאורטי בנושא לפרקטיקה צריך גוף. אחרת המחקר נשאר תאורטי"

"ברובוטיקה אי אפשר להיות במצב "חצי אפוי". או שעושים או שלא... זה לא צריך להיות "גחמה" של מוסד אקדמי, אלא חייב להיות משהו ברמה הלאומית"

"ישראל היום לא שחקן בכלל בשוק הרובוטיקה. ברובוטיקה צריך קבוצות גדולות ומשאבים גדולים. ב-Data Science המצב שונה. שם מסתמכים על Ingenuity, ההשקעות בקנה מידה לאומי הן יחסית קטנות והדיבידנד יכול להיות פי 100. ההחלטה צריכה להגיע מהרמות הגבוהות"

"למרות פוטנציאל כוח האדם הקיים, בישראל אין מספיק אפשרויות לעבוד בתחום הרובוטיקה. יש מספר חברות חזקות, אבל אין מספיק. הסיבה לכך היא שרובוטיקה הוא תחום אינטרדיסציפלינרי (מכונות, אלקטרוניקה, מחשבים, סנסורים, AI) וצריך תשתית בארץ כדי שאפשר יהיה להתחיל תחום של רובוטיקה. בארצות אחרות יש תשתיות כאלו. בקוריאה וביפן יש חוק של השקעות קבועות ברובוטיקה. בארה"ב יש מוסדות כמו Robotic Institute באוניברסיטת קרנגי מלון וה-Media Lab ב-MIT. בארץ אין תשתיות כאלו במימון משותף אקדמיה-תעשייה"

"צריך מקום שאליו יבואו אנשים עם רעיונות התחלתיים, ויהיו שם חיישנים, רובוטים, עובדים שיעזרו בתכנות, אנשי Data Science (שגם בהם יש מחסור גדול), ושכל זה יהיה זמין ללא תשלום גדול. הסטארט-אפים צריכים שבמקום כזה תהיה הדרכה בכיוון העסקי והנגשה לטכנולוגיות חדשות שלא מכירים. מקום שיאפשר להנביט רעיונות. מדובר בעשרות מיליונים של דולרים לציוד שהוא יקר, ואנשים שיעבדו בהובלה עסקית, בתכנות, בשרטוט וכו'. זו צריכה להיות השקעה ממשלתית, ועל הממשלה להחליט איפה יוקם, אם באקדמיה או מחוץ לאקדמיה"

"כשמסתכלים על מפת הסטארט-אפים לא רואים הרבה בנושאי מערכות אוטונומיות, אלא IT, סייבר וכו'. רובוטיקה מצריכה יותר השקעה. זו נישה שאין אותה כל-כך בשוק הישראלי כמו בתחומים אחרים. בזירת ה-multinational יש התעניינות. גם בתעשיית היצור הכיוון הוא רובוטי. הידע הקיים בישראל הוא אקדמי, אבל אין מעבר בין אקדמיה לתעשייה. ישראל חייבת להיות בתחום הרובוטיקה. רובוטיקה יכולה לתת פתרון לאנשים שלא משתלבים בעולם ההי-טק בניהול קווי ייצור, יצור רובוטים וכו'. ישראל טובה במחקרים בתחום הרובוטים, אבל בפן של לתת פתרון לחברה שנעזרת יותר ויותר ברובוטים - ישראל לא שם. סינגפור, למשל, יותר מתקדמת מישראל כי שם יש בעיה אמיתית של קצב ילודה שלילי והם רואים ברובוטיקה פתרון לבעיה"

» הון אנושי והכשרות

בוגרי תארים לא מחקרניים

בתחום מדעי הנתונים

ממצא 1: בתחום מדעי הנתונים יש ביקוש הולך וגובר לבוגרי תואר ראשון עם ידע בתחום. הביקוש נובע בחלקו מחברות טכנולוגיה ובחלקו מחברות שאינן חברות טכנולוגיה. הביקוש לבוגרים צפוי לגדול

³¹ <http://asimo.honda.com>

³² http://www.toyota-global.com/innovation/partner_robot/family.html

³³ <https://www.bostondynamics.com/atlas>

³⁴ <https://www.ri.cmu.edu>

³⁵ <https://www.media.mit.edu>

משמעותית, בעיקר אצל חברות שאינן חברות טכנולוגיה. בין התפקידים להם צפוי ביקוש: הנדסת נתונים, תכנון, טיפול ובקרת נתונים (טיוב, תיוג וכו'), אנליזת נתונים וויזואליזציה שלהם.

עם זאת, חלק מהספרות בתחום מציעה שנושאים כמו אנליזה וויזואליזציה של נתונים יעברו אוטומטיזציה וידרשו פחות כוח אדם.

להלן היגדים מתוך הראיונות בנושא זה:

"השוק יוכל לקלוט מאות בוגרים. יש ביקוש לא רק מצד חברות טכנולוגיה... חברות כמו חברות ביטוח, קופות חולים ועוד. מאות הבוגרים זה רק בחברות טכנולוגיה וחברות הזנק. חברות אחרות (מוסדיים וחברות שלא עוסקות בטכנולוגיה עילית) יוכלו לקלוט אלפים."

"יש ביקוש אדיר בתעשייה לאנשי Data Science... בארבע שנים ו-160 נקודות אי אפשר להכשיר גם למהנדס תעשייה וניהול בהתמחויות קלאסיות וגם למדעני נתונים. יש חפיפה בין המסלולים, אבל יש שוני ברמת ההתמחות. אנשי ה-Data Science לומדים מתמטיקה ותכנות ברמה יותר גבוהה, מתמקדים ב-Big Data ופרדיגמות תכנות, אחסון ואחזור מידע מתקדמות יותר מבסיסי נתונים סטנדרטיים. הם גם מתמקדים קצת יותר בהצגת וניתוח מידע."

"יש תפקידים נוספים שתופסים תאוצה, data engineers שמכינים את הקרקע, מטייבים, מתייגים, מקימים מכונות בענן. אבל הביקוש הגדול הוא ל-seniors, כי החברות לא רוצות לקחת סיכון ומעדיפות אנשים בעלי ניסיון, למרות שיש עבודות שגם מישהו עם שנתיים ניסיון יכול לעשות"

"ב-Data Science אפשר לעבוד גם עם תואר ראשון (וגם עם תואר שני). חשוב הניסיון. אין ציפייה ש-Data Scientist יפתח איזה אלגוריתם חדש. הוא צריך להיות מסוגל להסתכל על הנתונים ולהוציא מהם את התובנות כך שאנשים אחרים יוכלו להסתכל ולהבין"

"[מקצוע ה] Data Engineer לא יעלם, לא ניתן לוותר עליו ויש חוסר – לכל אפליקציה חדשה או מבנה מידע חדש שנכנס יצטרכו כלים חדשים בארגון המידע, שכן אין סטנדרטיזציה. לדוגמה מידע שמגיע מגוגל שונה ממידע שמגיע מפייסבוק. או מכל אמצעי הזנה אחר. כנ"ל מידע שמגיע ממכבי שונה ממידע שמגיע מהכללית, וזה אפילו בתחום הצר של ארגוני הבריאות"

בוגרי תואר ראשון בתחומי AI ו-Data Science יכולים להשתלב בתעשייה "בנושאי IoT, בינה מלאכותית, data scientist, data engineer, מנתחי נתונים (למשל ב-eBay, waze), עבודה עם נתונים גדולים, יישום אלגוריתמים"

בוגרי המכללה "יכולים למלא תפקידים קיימים ותפקידים בהתהוות. משתלבים כאנליסטים, חלק משתלבים בתפקידי תכנון, טיפול ובקרה על נתונים. בתוך החברות מבצעים תפקידים של חיפוש מידע, הצלבת מאגרי מידע פנימיים עם חיצוניים, וכל תחום מערכות המידע. התמקמות בנישות חדשות בשוק העבודה"

בתחום ה-AI וה-Deep Learning

ממצא 2: בתחום הבינה המלאכותית ולמידת מכונה יש בחלק מהחברות ביקוש לבוגרי תואר ראשון עם הבנה בסיסית בבינה מלאכותית וידע בכלים שימושיים לתפקידי פיתוח (שאינם תפקידי מחקר).

"בתחום AI הפיתוח לא תמיד מאפס, אלא מתבסס על קודים קיימים, שעוברים שיפורים והתאמות, בעיקר כאשר עובדים בתחום שהוא לא חדש לגמרי. אצלנו בחברה הדרישה היא פיתוח לא מחקר, לכן מספיק שאנשים יהיו מהתחום ובעזרת הכשרה מתאימה יצליחו לעשות את העבודה... צריך להגדיל את כמות הבוגרים מהאוניברסיטאות, שמהוות חסם. אולי כדאי להוריד את הסכם ולתת ליותר אנשים מוכשרים לנסות ללמוד לתואר, הניפוי יהיה טבעי יותר. חייבים לפתוח יותר מסלולים, אפילו במכללות..."

"התואר הראשון ב-data science ישנה את תמונת המצב בתעשייה מבחינת ההכשרה המתאימה לעובדים בתחום. כלומר, אם בעבר רק דוקטורים היו מוכשרים לעבוד ב-data science, היום מבינים שאין צורך בתואר שלישי לעבודה זו כי אין בה נופך מחקרי"

"קשה לגייס מהנדסים שמתמחים ב Deep Learning לא צריך ידע אקדמי רחב ולא צריך להיות דוקטור בשביל פיתוח אלגוריתמים פשוטים לעיבוד תמונה. בחברה לקחו מצטיינים בתארים ראשונים והכשירו אותם במשך שלושה חודשים – מתמטיקה שימושית, פייתון וכד'"

בוגרי תארים מחקריים וחוקרים בכירים

ביקוש לבוגרי תארים מחקריים בתעשייה

ממצא 3: קיים ביקוש גדול בתעשייה לבוגרי תארים מחקריים בתחומי הבינה המלאכותית מדובר בנושאים שהמחקר בהם (גם בתעשייה) דורש בסיס מדעי רחב.

להלן מספר היגדים בנושא זה מתוך הראיונות:

בתחום מדעי הנתונים

"יש מחסור בתעשייה בחוקרים בתחום ה-Data Science. אין מחסור במחקר של חוקרים בתחום של Machine Learning. יש מעט מהם, אבל יש. ב-Data Science, שזה משהו שנדרש להסתכל בו בתמונה יותר רחבה, שם חסרים מאנשים עם תואר ראשון וקצת ניסיון, ועד אנשים עם דוקטורט. זה ממש חוסר עמוק."

"המחסור הוא לא רק בתעשייה ובאקדמיה אלא גם בגופים ביטחוניים. לצבא יש בעיה נוספת, הם מקבלים תלפיונים ועתודאים. אבל לבוגרי תואר ראשון חסר ידע, ואם הם יוצאים לעשות תואר שני או דוקטורט הם לא חוזרים לצבא. לכן הצבא מנסה לעשות עדכון של תכניות שירות, כך שיכלול גם תואר שני"

בתחום ה-AI וה-Deep Learning

"התעשייה מציעה למי שמסיים דוקטורט שכר גבוה ויוצא דופן וחופש מחקרי. לא חופש כמו פוסט דוקטורט, אבל יכולת לפרסם ועוד. יש מחסור בתעשייה שהוא אקוטי עד כדי כך שהתעשייה פונה לאקדמיה בבקשה 'לשדך' להם בוגר דוקטורט ומוכנה לשלם על ה'שידוך'. מחפשים גם כאלו שעושים תארים שניים מחקריים. ה-head hunting הוא גלובלי."

"קיימת בעיה חמורה בגיוס עובדים, גם ברמת מנהלים. המחסור בידיים ומוחות עובדים חמור מאוד. מנסים לפתור את הבעיה על ידי ניווד אנשים והסבות פנימיות. שולחים אנשים מתאימים, בעלי רקע מסוים, לעשות קורסים אינטרנטיים בקורסרה ודומיהם. יש גם הכשרה פנימית, לאנשים עם רקע. למשל למהנדס שבא מתחום אלגוריתמיקה, מקבל סדנת DL או ML, אבל זה לא אותו דבר כמו מישהו שעשה בזה תואר שלם. אקדמיה צריכה ללמוד לשחרר יותר מסטרנטים ודוקטורנטים, אבל בעיקר מסטרנטים ועדיף עם תזה, לא עם פרויקטים, כאלה שיוכלו להשתלב במשרות פיתוח"

"התחום של Deep Learning ו-Machine Learning הוא מהתחומים היחידים שיש משמעות רבה לתארים מתקדמים. תואר שני הוא קריטי, בעיקר עם ניסיון בתעשייה ובמודלים אמיתיים ותואר שלישי נותן יתרון משמעותי.. אין בנושא הזה מעקפים. נדרשת הבנה בקונספטים מתמטיים מורכבים וההשכלה היא מעל הממוצע. אנשים צריכים לדעת לקרוא ולכתוב מאמר, וחשוב גם הרבה ניסיון פרקטי."

"בשביל לעשות פיתוח לא צריך הרבה כוח אדם. מספיק 15 אנשים כדי לעשות פיתוחים פורצי דרך. ... אבל גם עם זה אנחנו בבעיה. יש מאות סטארט-אפים בישראל שמגדירים Machine Learning בליבה שלהם, אבל הנדסית בלבד. מדעית אין להם מושג. הם מחפשים אנשים, אבל לא יכולים להתחרות בחברות הגדולות."

הביקוש לדוקטורים עלה בתעשייה. היתרון של הדוקטורט ברור לכל חברה בתחום. בוגרי תואר ראשון לא חוקרים אלא מיישמים. כדי לחקור צריך לפחות תואר שני. לאט לאט החברות מתחילות לקחת בוגרי תואר ראשון בגלל מחסור באנשים."

"אמאזון קונה דוקטורנטים במשכורות עתק (ואף חברות לצורך החוקרים שלהן)"

"הבעיה העיקרית היא בראש הפירמידה. דברים אחרים ניתנים לפתרון כי מודל התגמול של מל"ג גורם להגדלת מספר הקורסים בתואר ראשון כדי למשוך הרבה סטודנטים."

ממצא 4: מספר הסטודנטים המבקשים היום לעשות תארים מחקריים עולה במחלקות מסוימות בחלק מהאוניברסיטאות על יכולתם של המנחים לקבל סטודנטים, בעיקר בתחומי הבינה המלאכותית.

להלן מספר היגדים בנושא זה מתוך הראיונות:

"יש כ-10 סטודנטים לתארים מתקדמים, ולהם נוספים סטודנטים בחלקיות ופרויקטים שלא לתזה, כך שסה"כ יש בין 10-20 סטודנטים. אי אפשר לעבוד ברצינות עם יותר מעשרה סטודנטים. ... הביקוש גדול של סטודנטים גם מהנדסת חשמל, גם ממדעי המחשב וגם מהנדסה ביו-רפואית."

"מחצית מהסטודנטים (דוקטורנטים) גרים בתל אביב [החוקר מהטכניון]. זה מראה על מחסור בחוקרים." "באוניברסיטה מצב חברי הסגל טוב, מכיוון שהשכילו לגייס מספיק חברי סגל בתחום, יש 6-7 חברי סגל שעוסקים ב-ML, יש גם אנשי NLP וביג דאטה."

"ישנה מגמה מדאיגה של ביקוש מוגזם ולא סביר של סטודנטים לתארים מתקדמים לתחום של Machine Learning. זה בגלל ה'באז' ובגלל שסטודנטים שומעים שהתחום נדרש בתעשייה וגם מעניין. הביקוש עולה על ההיצע מבחינת מנחים, זה תחום צפוף וקשה למצוא מנחים"

"בשנה וחצי האחרונות הייתה עלייה גדולה בכמות הסטודנטים לתואר שני ושלישי, 2/3 מתוכם ב Machine Learning ו-Data Science. אוניברסיטת בן גוריון חתמה עם מל"ג על הסכם גידול במסגרת תכנית לימודים בהייטק. מספר חברי הסגל גדל מ-18 ל-24. 3 נוספים יצטרפו בשנה הקרובה ובעוד שנתיים יסתיים הגיוס ומספר חברי הסגל יעמוד על כ-30."

ממצא 5: גידול בביקוש בתעשייה לסטודנטים בתואר ראשון (ראו מעלה) עלול להקטין את מספר הסטודנטים המעוניינים להמשיך לתארים מתקדמים.

להלן מספר היגדים בנושא זה מתוך הראיונות:

"לא ידוע על תופעה של מנחים שעוברים לתעשייה או לחו"ל. אם כבר יש בעיית סטודנטים, שרק מעט מהם רוצים לעשות תואר שני במשרה מלאה. בוגרי תואר ראשון 'נתפסים' על ידי התעשייה ולא מגיעים לתארים מתקדמים. הבעיה היא סטודנטים ולא סגל, אם כי לא ברור אם זה יביא למחסור בדוקטורנטים בעתיד."

צפוי חוסר בתארים המתקדמים. הסיבה לכך היא שאי אפשר לגשר על הפער במשכורות שהסטודנטים יקבלו בתעשייה למלגה שהם יקבלו בתארים המתקדמים, לא בתואר השני ולא בתואר השלישי. לבוגר תואר שני עדיף להרוויח משכורת גבוהה בשוק מאשר לחיות ממלגת דוקטורט."

"לא רואה בזליגה לתעשייה דבר רע, חושב שיש זליגה בריאה בין תעשייה לאקדמיה. כרגע גם אין מחסור בדוקטורנטים טובים"

ביקוש לחוקרים בכירים בתעשייה

ממצא 6: חברות בינלאומיות גדולות מעוניינות להעסיק חוקרים מובילים. בארה"ב ובמקומות אחרים בעולם ידוע על תחרות עזה בין האקדמיה לתעשייה, כאשר התעשייה מציעה תנאים מפליגים לחוקרים בכירים והאקדמיה מתקשה להתמודד. לא מן הנמנע שמצב כזה יתרחש גם בישראל.

להלן מספר היגדים בנושא זה מתוך הראיונות:

"תופעות שקורות בישראל קרו כבר או שנמצאות בתהליך עמוק בארה"ב. הבעיה שנוצרה ושארה"ב מתקשה להתמודד אתה היא תחרות בין האקדמיה לתעשייה הידע, בעיקר ב-IT (כולל מערכות לומדות ו-AI). התעשייה חזקה מהאוניברסיטאות. סביב אוניברסיטאות מובילות כמו סטנפורד ו-MIT קמו מרכזי מחקר של התעשייה כמו פאלו אלטו ו-Route 128 (שירד מגדולתו). אלו שואבים את מיטב חברי הסגל."

"בארה"ב, חברות כמו גוגל, פייסבוק ואמאזון, לקחו מהאוניברסיטאות הכי טובות את הפרופסורים הטובים ביותר ב-data science, וחלק מהאוניברסיטאות שם נמצאות בבעיה."

"זו סוגיה מורכבת. הרבה חוקרים פונים לתעשייה או לאוניברסיטאות בחו"ל. החברות שואבות אנשים עם מצינויות, ובארץ לא יודעים איך להתמודד עם זה"

"אין סיבה לחוקר לחזור לאקדמיה. ההפרשים הם כמעט פי 10 במשכורת, אין נגישות ל-data וקשה לעשות את המחקר, וגם אין כוח מחשוב. המחקר המוביל שיש בארץ הוא מחקר תאורטי. אין תקציבים למי שרוצה לעשות משהו אפליקטיבי. זה גורר בעיות אחרות: אין מי שיכשיר עוד data scientists"

"ישנה תחרות קשה על האנשים המצוינים. זה לא עניין של מהנדסים. גם אם אמאזון ירצו לשכור 600-700 מהנדסים ועליבאבא ירצו לשכור 1,000 מהנדסים, עדיין התחרות היא לא על המספרים הגדולים אלא על האנשים בטופ."

"בחול" החברות הגדולות שואבות כ"א. בישראל המצב הוא של שיתוף פעולה עם התעשייה. עדיין מצליחים למשוך אנשים מובילים לאקדמיה, גם בתאוריה וגם בפרקטיקה, והמצב כרגע הוא של תחרות עם מוסדות אחרים ולא עם התעשייה."

"הרבה חוקרים לא חוזרים לארץ. במיוחד בתת תחום של Data Mining, שזה תחום בו כמעט אף חוקר לא חוזר לארץ. מי שטוב נשאר בארה"ב בתור פרופסור, או הולך לחברות הגדולות כי שם יש את כל הדאטה."

תובנה: פעילות לקידום תחום מדעי הנתונים והבינה המלאכותית צריכה להביא להגדלת מספר סטודנטי המחקר על מנת לתת מענה לצרכי התעשייה ולייצר את הדורות הבאים של חוקרים באקדמיה. לאור התחרות עם התעשייה ועם אוניברסיטאות בחו"ל עלו מספר אסטרטגיות עיקריות להתמודדות:

הדגשת היתרונות שבאקדמיה ובהן קביעות ובטחון תעסוקתי, אפשרות לבצע מחקר משמעותי וחופש אקדמי (לאנשי סגל), ואפשרות 'לשדרג' את המעמד בשוק העבודה (לסטודנטים).
שיפור משמעותי בנגישות לדאטה, כולל דאטה שקיים רק באקדמיה (ראו סעיף העוסק בנושא תשתיות דאטה).
מציאת דרך לבצע בידול במלגות לסטודנטים ובשכר לסגל במקצועות בהן קיימת תחרות עזה עם התעשייה ועם אוניברסיטאות בחו"ל. בין הדרכים שהוצעו: מתן מלגות מחייה לפוסט-דוקטורנטים במטרה להשיב אותם לישראל בתום ההשתלמות, והאצת מסלול הקידום לחוקרים.
בחנינת המודל הנכון לעבודת חוקרים מהאוניברסיטאות בתעשייה. המודלים אליהם נחשפנו הם:
- יום אחד בשבוע (מאפשר לחוקר להיחשף לבעיות אמיתיות בתעשייה)
- עבודה במשרה מלאה באקדמיה ומשרד מלאה בתעשייה
- לקיחת חל"ת לצורך עבודה בתעשייה לזמן מוגדר

להלן מספר היגדים בנושא זה מתוך הראיונות:

"צריך לחשוב גם על הגדלת מספר חברי סגל וסטודנטים לתארים מתקדמים ע"י שת"פ עם התעשייה, גרנטים מהתעשייה ומענקים ממשלתיים.... צריך לתקצב דוקטורנטים בכירים או אנשי תעשייה שיעזרו לתדרך את האנשים בדוקטורט ובמאסטר. להוציא מהר יותר את הכמויות שהשוק צריך."

"המעבר [מהאקדמיה לתעשייה], אם קיים, הוא לא בגלל כסף, אלא בגלל דאטה. יש גם פתרונות במערכת, כמו למשל עבודה גם באקדמיה וגם בתעשייה. אם יהיה חוסר ירחיבו את המודל למוסדות אחרים, לא צריך התערבות מלמעלה."

"יש צורך להגביר את היקף המלגות על מנת שסטודנטים ילכו לתארים מתקדמים, אחרת יש סכנה אמיתית שלא יהיו חברי סגל בתחום שינחו את הסטודנטים."

"עדיין לא התחילו לחשוב על הסוגיה הזו, אבל הדברים זזים מאוד מהר.... מערכת ההשכלה הגבוהה לא השכילה למצוא פתרונות. אנשים שנמצאים בלימודים מתקדמים יכולים לקבל מלגה שלא יכולה להתחרות במה שמציעות החברות. יש גם את עניין השוויון: האם מי שעושה דוקטורט בהנדסת מזון שווה פחות מהנדסת חשמל? לאדמיניסטרציה קשה להתמודד עם סוגיות כאלו, אבל אפשר למצוא פתרונות יצירתיים. באוניברסיטאות פרטיות, למשל, המשכורות דיפרנציאליות, וב-Professional School המשכורות גבוהות יותר לאורך הקריירה. באוניברסיטאות שאינן פרטיות יוצרים מדרג דרגות פרופסורה שמציע קידום מהיר לעבר המשכורות הגבוהות. מה שעוזר כרגע זה להסביר למשתלמים שההשתלמות שלהם תעזור להם לקבל מהר מאוד את הערך בחזרה"

"עד לפני זמן קצר היה ברור שאם שאתה באקדמיה או שאתה בתעשייה, וכל אחד יכול לבלות אצל האחר יום עד יומיים בשבוע. עכשיו המצב הוא שהאקדמיה 'הרימה ידיים', ומאפשרת להיות גם באקדמיה במשרה מלאה וגם בתעשייה במשרה מלאה. זה מצב לא בריא. הבחירה צריכה להיות ברורה. מי שרוצה קביעות ורוצה לעשות מחקר הולך לאקדמיה, מי שרוצה להרוויח יותר כסף ולעשות מחקר תעשייתי הולך לתעשייה. הריקוד על שתי החתונות הוא לא בריא. 'הרמת הידיים' של האוניברסיטאות זה דבר רע. לאוניברסיטאות יש את הקביעות, ואת האפשרות לעשות מחקר שאלו דברים משמעותיים. מי שרוצה לעשות מחקר בארץ האקדמיה היא המקום בשבילו. אז למה לאקדמיה למכור את עצמה בזול? המודל של יום בשבוע הוא המודל העדיף. זה יכול לעזור לחוקר להישאר בקשר עם השטח, או להיחשף לבעיות שמעניינות את התעשייה, גם אם הוא לא ינסה לפתור אותן."

הכשרות חוץ אקדמיות

ממצא: בתנאי השוק הקיימים יש מקום להכשרות חוץ אקדמיות. הכשרות חוץ אקדמיות מתאימות להכשרת מפעילי כלי AI ברמת הטכנאות, הכשרת בוגרי הנדסה או מדעים מדויקים שעברו קורסים מקצועיים לתפקידים התחלתיים.

תובנה: נדרשת בדיקה מעמיקה של הביקוש לבוגרי הכשרות חוץ אקדמיות בתעשייה (סקר החברות שהוא חלק מהשלב הבא של מחקר מוסד נאמן יעלה שאלה בנושא בפני החברות בתחום)

להלן מספר היגדים מהראיונות בנושא:

"צריך לשקול לנער את ההכשרה הלא אקדמית. זה רובד שפחות מגובש ופחות בשל ומסודר. למשל קורסי תכנות קצרים וספציפיים. לא ברור כמה השוק מציע קורסים לכלי Deep Learning, ברמה של לדעת להפעיל אותם בלי להבין אותם, כלומר ברמה של טכנאות."

"[על מנת להכשיר] מפתחים עם ניסיון בחברות נדרשות 100 שעות, פי 3 מקורס אקדמי ממוצע. נדרש לקורס כזה רקע ב-STEM: מדעי המחשב, הנדסה, סטטיסטיקה ומתמטיקה. בפועל למפתחי deep learning צריך יכולות מתמטיות בסיסיות ולא מתמטיקה עמוקה (הנדרשת למחקר), אלא ביצוע משימות פיתוח בתחום ה-deep learning. יש הרבה מקומות היום שמציעים קורסים בסגנון זה, חלקם לא מקצועיים. זו נישה שגם מכללות יכולות לתפוס, אבל מכללה זה קצת over-kill. אין צורך ללמוד במכללה כדי לעבוד בתפקיד ג'וניור. הפתרון למצוקת כ"א למשרות כניסה לא יבוא מהאקדמיה. הזמן שלוקח לאקדמיה להכשיר גדול מדי. פרויקט סיום באקדמיה לא אומר שזה מתאים לתעשייה. אפשר לגשר על הפער הזה, אבל לא בטוח האם האקדמיה צריכה להתחשב בשיקולי שוק העבודה. האקדמיה צריכה להישאר גוף מחקרי, לא מוסד שמכשיר עובדים. תפקיד האקדמיה לתת סט כלים גנרי, ללמד תכנות ככלי ולא כהכשרה למתכנתים."

"הסניף הישראלי של ה-Association for Unmanned Vehicle Systems International (AUVSI) מנסה להביא לארץ את Udacity, מחלקה בסטנפורד שנותנת התמחויות בתחום³⁶. למשל התמחות ב-Self Driving Car Engineer בתוך 9 חודשים (הכשרות מקוונות). נדרש להכשרה זו רקע בהנדסה ובמחשבים. השיטה הזו של השתלמויות קצרות היא העתיד בתחום הרובוטיקה וה-AI."

"יש ניסיון 'לרדד' את התחום. להכשיר data analysts שיועדים להוציא תובנות בלי להיות חוקרים (data scientists). ישנם כלים וספריות, וכל מי שיש לו ידע תכנותי יכול לעבוד עם מודלים (פייתון, טנסרפלאו, קארס), בלי ידע אקדמי וטכנולוגי. זה מתאים לניסויים ראשוניים בתחום או 'משחק' באימון מודלים. מתאים לקשת רחבה של אנשים שיכולה 'לשחק' או 'ללכלך ידיים' בתחום. החברות מתקשות לגייס data scientists, וצריכות אנשים בינתיים. לכן לאנשים כאלו יהיה יותר ביקוש. אילו אנשים שהם באמצע, בין Business Intelligence (BI) (עבודה עם SQL) לבין משחק עם מודלים ראשוניים. אם לא יהיו הכשרות data science טובות באוניברסיטאות ובמוסדות פרטיים תהיה צמיחה של מקצועות שנותנים פתרונות ברמה נמוכה יותר."

³⁶ <https://www.udacity.com>

"יש נישה עבור אנשי הנדסה או מדעים מדויקים שעברו קורסים מקצועיים (לימודי חוץ, לימודי תעודה). זה קצת כמו בודקי תוכנה. יש נישה עבורם. הם כנראה לא מיד יקבלו את העבודה האטרקטיבית ביותר שיש, אבל המצב היום בשוק הוא כזה שהיו מעדיפים את מי שמכיר את השיטות הכי מודרניות וחדשות, כמו שלומדים בטכניון בתואר הראשון, אבל מקבלים גם אנשים עם פחות מזה, אם יש להם ניסיון."

"בגוגל מאמינים בלהפוך מהנדסים ל-Data Scientists. זה לא באמת הסבות, אבל בונים להם כלים שהם לא צריכים באמת להבין את המתמטיקה מאחור, אלא רק להפעיל את זה. זה הופך להיות בעיית pipe-line הנדסית. מנסים לעשות דברים דומים לדברים האלה גם בצה"ל."

קורסים תשתיתיים בפקולטות להנדסה ומדעים מדויקים

ממצא: פקולטות הנדסיות ומדעיות שוקלות לתת לסטודנטים קורסי בסיס או הכרות עם בינה מלאכותית ומדעי הנתונים.

תובנה: שינויים בשוק והביקוש מצד הסטודנטים מביאים את האוניברסיטאות להתכוון לקראת פתיחת קורסים אלו גם ללא התערבות 'מלמעלה'. נדרש לבחון אפשרות לזרז מתן אישורים לקורסים כאלו כדי לא לעכב את האוניברסיטאות.

להלן מספר היגדים מהראיונות בנושא זה:

"הפקולטה [לתעשייה וניהול בטכניון] מתוכננת לתת קורס שירות במבוא ל- data science לכלל הקמפוס. בשנה הבאה מריצים פיילוט בנושא. קורס שפותח לטובת אוכלוסייה כללית יותר (בעלת הכשרה מתמטית פחות חזקה) בעוד שנתיים מתוכנן להוציא את הקורס לכלל הקמפוס כנראה כקורס חובה (תלוי פקולטה)."

"לכל הפקולטות (בטכניון) צריך להיות קורסים של AI. כמו שכל הסטודנטים מקבלים פיזיקה מהפקולטה לפיזיקה, ככה צריכים לקבל, למשל, רשתות נוירונים מהמומחים לרשתות נוירונים (לא ארכיטקטורה וסידור מאגר נתונים, אלא בניית מודלים, בניית רשתות נוירונים ואלגוריתמיקה)."

"רוצה לקבל (לתארים מתקדמים) אנשים שמומנים בתחום זה. חסרים קורסי בסיס שיתנו רקע מוקדם. צריך שינוי משמעותי, זו מהפיכה תעשייתית."

"אם יתבצע חישוב של הביקוש הצפוי לאנשי Data Science המסקנה תהיה שפקולטה ל-Data Science לא יכולה לספק את האנשים האלה, ולכן הנושא של Data Science בפורמט כזה או אחר חייב להיות בכל פקולטה, כמו שהיום בכל פקולטה הסטודנטים עושים אלגברה 1, אלגברה 2 וכו."

"חוקרים מתחום הביולוגיה והרפואה לא צריכים ללמוד Deep Learning, אבל צריכים להיות מודעים לזה היטב. הם עוסקים בזה או לפחות משתפים פעולה עם מי שעוסק בזה."

"ההנחה היא שלאט לאט יורחבו הקורסים, כולל לקורסים יותר בסיסיים מסודרים שיינתנו בשנה הרביעית של התואר הראשון. בפקולטה להנדסה היום כל אחד מלמד חלקים כאלו ואחרים. בהמשך יהיה קורס רוחבי של כלל הפקולטה שיהיה תיאורטי, ובמסלול הביו-רפואי יבנה קורס יותר אפליקטיבי."

"היה טוב אם אנשים כמו רופאים היו מקבלים משהו בסיסי ב-Data Science בהכשרה שלהם. הם לא צריכים להבין באלגוריתמיקה, אבל הם צריכים להיות מודעים שיש אנשים שאם יבואו אליהם עם השאלה הנכונה אפשר לפתח איתם דיאלוג. הרבה פעמים מה שלוקח הרבה זמן זה לפתח את הדיאלוג. להגיע עם שאלה, לראות האם אפשר למצוא עליה תשובה, או על שאלה קרובה אחרת וכו'. סוג של דו-שיח. היום סטודנטים לרפואה מקבלים קורס בסטטיסטיקה. צריך להרחיב את זה לכיוון של Data Science ובעיקר לתת להם התנסות. צריך קורס כזה גם לרופאים, וגם, באותה מידה, לסטודנטים למדעי ההתנהגות. הקורס צריך לכלול התנסות עם לקיחת נתונים והוצאת תובנות."

הכשרה בפקולטות למדעי החברה והרוח

ממצא: מדעי הנתונים הופכים להיות שיטת מחקר מרכזית גם במדעי החברה והרוח. הבנה בסיסית של המונחים והאפשרויות הגלומות ב-Big Data הם חלק מהאוריינות הדיגיטלית/מדעית הנדרשת אצל בוגרי אוניברסיטאות.

תובנה: בוגרי מדעי החברה והרוח יזדקקו לסוג מסוים של הכשרה בתחום על מנת להשתלב בעולם העבודה והמחקר העתידיים.

להלן מספר היגדים בתחום שעלו במהלך הראיונות:

"בפקולטות אחרות, כמו מדעי החברה, יש קורסי בחירה. לא נראה ש-Data Science יהיה קורס חובה בקרוב. זה צריך להיות כמו סטטיסטיקה, משהו שהוא חובה בהרבה מקצועות, אבל זה ייקח הרבה זמן."

"צריך ללמד Data Science ותכנות בפייתון כמו מבוא לסטטיסטיקה ללא מתכנתים למדעי החברה. לא הרבה שותפים לדעה זו, אבל זו מיומנות המאה ה-21, אוריינות חדשה, הזדמנות לסטודנטים שלא מרקע של מדעים קשים להתקדם. אחרת ייווצרו פערים שיהיו להם השלכות חברתיות. הרבה סטודנטים למדעי החברה לא רוצים להתעסק במספרים, קשה להם עם סטטיסטיקה מורכבת או תכנות. אבל ברמה הלאומית צריך לפתור את זה, למשל ע"י עיסוק בנושא בשלב מוקדם יותר (בתיכון)."

"ישנם שני דברים שהם הכרחיים: אחד זה מחקר, להתקדם ולהיות בין אלו שנמצאים ב'שפיץ' של המחקר הטכנולוגי. זה קומץ של אנשים וקומץ של אוניברסיטאות. דבר שני, צריך לדאוג בתכנית הלימוד שכל אחד ידע להשתמש בכלים האלה. זה כולל גם, למשל, מדעי הרוח הדיגיטליים, מדעי החברה הדיגיטליים, מדעי המשפט הדיגיטליים וכו'. כלומר להביא אנשים מדיסציפלינה אחרת לשימוש בכלים של AI ולגרום לבוגרים להיות digital literate (לפחות ברמה שבוגר ידע מה הוא צריך לבקש מה-data scientist)"

"היום סטודנטים לרפואה מקבלים קורס בסטטיסטיקה. צריך להרחיב את זה לכיוון של Data Science ובעיקר לתת להם התנסות. צריך קורס כזה גם לרופאים, וגם, באותה מידה, לסטודנטים למדעי ההתנהגות. הקורס צריך לכלול התנסות עם לקיחת נתונים והוצאת תובנות"

» תחומי החוזק של ישראל

ממצא 1: התחומים הבולטים שהוזכרו ככאלו שבהם יש לישראל יתרון בתחום ה-AI הם רפואה וסייבר. עוד הוזכרו תחבורה ותורת המשחקים.

תובנה: נדרשת בדיקה מעמיקה של תחומי החוזק של ישראל (סקר החברות שהוא חלק מהשלב הבא של מחקר מוסד נאמן יעלה שאלה בנושא בפני החברות בתחום)

"ישראל חזקה מאוד ברפואה ובמדעי המחשב, לכן בחיתוך של שניהם יכולה להיות בחזית העולמית יחד עם ארה"ב. יש לישראל יתרון עצום בשל הידע הרב בתחום"

"ישראל חזקה... באופטימיזציה וחקר הביצועים, תורת המשחקים האלגוריתמית. בנוסף, בישראל נמצאים הסטטיסטיקאים בין הטובים בעולם. הובלה זו מתבססת על סמך פרסום בכנסים היוקרתיים ביותר"

"האתגר הוא להתקדם למערכות לומדות ללא מומחה (unsupervised). במערכות לומדות מונחות המומחה הוא הקובע והידע הוא ידע קיים. רוצים מכונה שיכולה למצוא $N+1$, למשל למצוא מחלה שלא מכירים אותה... אנחנו מאמינים שזה אפשרי, אבל לא ברור מתי. דברים קורים בכיוון הזה בחזיתות כמו רפואה ובטחון. זה תחום שישראל רוכשת בו מקום מרכזי. כדאי לנו כישראלים להתמקד בנושא זה. מסיבה זו הטכניון בחר במערכות לומדות כאחד הנושאים שהוא רוצה לפתח."

"תעשיית ה-Cyber מתקדמת מאוד בארץ, ומביאה הרבה מידע. הסייבר וה-AI מזינים אחד את השני, והסייבר הוא אחד מנועי הצמיחה של ה-AI"
"יתרונות של ישראל:

- בתחום הרפואי: 1. גישה למידע, 2. נכונות בישראל לנסות דברים.
 - בתחום אבטחת מחשבים: נכון להיום ישראל היא מעצמה מבחינת ידע בתעשייה, אבל אין כמעט מחקר באקדמיה (בכלל בעולם). כשאנחנו רוצים לפרסם משהו שנוגע לסייבר אנחנו מפרסמים בכנסים של Data-Science כי אין כנסים בסייבר ברמה שהיינו רוצים. אבל לעומת זאת יש בעיות יפות בתחום הזה, מכל מגוון הבעיות של Data Science שאפשר לחשוב עליהן.
 - תחבורה
 - תורת המשחקים: קיים באקדמיה ופחות מפותח בתעשייה. יש קבוצות בארץ שמאוד טובות בזה. יש לזה אפליקציה בתעשייה, אבל זה לא מאוד מפותח."
- "לישראל אין יתרון יחסי. בתחום הזה ישראל לא כמו בסייבר, שאנשים יוצאים מהצבא עם ניסיון, ואין מסורת כמו בסמיקונדקטורס. ישראל די מיושרת עם העולם. לא המדינה ולא האוניברסיטאות עשו מאמץ מיוחד בתחום ולכן אין יתרון יחסי."

ממצא 2: לישראל אין יתרון יחסי בתחום הרובוטיקה, אבל יתרון כזה הוא אפשרי במידה ויוחלט ברמת המדינה לבצע את ההשקעות הנדרשות בתשתיות ובהכשרות

להלן היגדים בנושא מתוך הראיונות:

"בנושא הזה (רובוטיקה) צריך לתפוס את היתרון. זאת טכנולוגיה שאף אחד לא הבין עדיין איך "לאכול" אותה, היא עדיין לא ממוסדת. יש מומחים בתחום אבל אין מקום שאפשר להצביע עליו ולהגיד שהם שולטים בשוק הזה. גם לא במזרח הרחוק, שם טובים במכניקה אבל לא ברובוטים אוטונומיים. כל העניין של איך לעשות רובוט מספיק חכם כדי לקבל החלטות לבד ולבצע משימות באופן עצמאי לחלוטין עדיין לא רואים הרבה. רואים הרבה ניסיונות, לא רואים הרבה הצלחות. חברה אחת שעושה את זה ממש טוב היא Boston Dynamics, של יוצאי MIT, אבל זו חברה מחקרית נטו, הם לא מסחריים. הם בהפסד עצום ולא נראה שאי פעם יהיו רווחיים ויחזירו את ההשקעה. בכל מקרה זה לא מאפיין את ארה"ב ככלל.

כדי לתפוס את ההובלה צריך לפתוח מגמות אקדמיות שתואמות לסיפור הזה, בעיקר בהנדסת מכונות ומדעי המחשב, ולפתח את כל הנושא של אוטונומיה שהוא בסה"כ הרבה אלגוריתמיקה וכתובת קוד תוכנה. מבחינת תשתיות פיזיות צריך מעבדה עם רובוטים, ורובוטים זה דבר יקר ומצריך השקעה."

"חסר בארץ יכולות תכנות בסיסית של רובוטים (לא אפליקטיבי, ברמת מערכת ניהול של הרובוט). בארץ יש היום הכי פחות רובוטים פר עובד (על בסיס נתוני סקר IFR הגרמני). צריך מקצוע התמחות "מתכנתי רובוטים" – AI, Vision, מחשבים + מצלמות + C + AI++. היום יש בשוק מעט חברות, אולי שתיים, אבל זה כמו התרנגולת והביצה. יהיו אנשים מוכשרים, יהיו יותר ויותר חברות.

ממצא 3: אחד היתרונות של ישראל לעומת העולם הוא האקוסיסטם הייחודי שלה, קשרי אקדמיה-תעשייה-צבא, ויכולת להגיב לשינויים במהירות יחסית תוך ניצול 'יתרון לקוטן'.

"היתרון האחד של ישראל הוא שאנחנו מדינה קטנה, שיכולה לארגן את כל האקוסיסטם ביחד. למשל ללמד Machine Learning בתיכון, משהו שגוגל לא יכולה לעשות. כנ"ל באוניברסיטאות... בישראל גדלנו מ-7 אוניברסיטאות ל-70 (בנושא של הכשרה), למרות במה שבחזית הטכנולוגיה יש הבדלי בין אוניברסיטה למכללה (אבל לא בטכנולוגיות ותיקות). יש בזה יתרון עצום, כמו שמימשנו אותו בסייבר.

גורם נוסף הוא צה"ל בתפקידו כהמשך החינוך התיכוני, בכל האוכלוסייה. בישראל חיים על יתרון איכותי בשדה הקרב, ולכן צה"ל משקיע הרבה בטכנולוגיות מתקדמות. פריצות דרך מתרחשות בתחום הביטחוני. קשרים נכונים בין צבא לאקדמיה כמו שקיים בתחום אחרים זה יתרון עצום."

5. המשך מחקר

בשלב הבא של הפרויקט יתבצע סקר בקרב חברות תעשייה שמטרתו לחזק ולתקף את הממצאים וההמלצות שעלו מראיונות העומק.

רשימת הנסקרים כוללת כ-700 בכירים בחברות בתחומים הבינה המלאכותית, מדעי הנתונים והרובוטיקה החכמה (כולל חברות שמבצעות שימוש בטכנולוגיות רלוונטיות במוצרים שלהן, וחברות המפתחות טכנולוגיות אלו). השאלון שצפוי להישלח בתחילת חודש ספטמבר 2018 מופיע בנספח 7 של דו"ח זה.

בהמשך תתבצע סקירה של נושאים שלא טופלו עד כה, כמו נושאי אתיקה, פרטיות ושקיפות בבינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה.

תיקוף אחרון של כלל העבודה צפוי להתבצע באמצעות שולחנות עגולים ו/או סיעור מוחין או שיטות אחרות של דיון ושיח.

נספח 1: סקר ספרות

1. הקדמה והגדרות

סקירת הספרות הנוכחית נועדה לזהות את המגמות המרכזיות בתחומי הבינה המלאכותית, הרובוטיקה החכמה ומדעי הנתונים³⁷ ולהציג כמה מהתחזיות בנוגע להשפעותיהן על החברה והכלכלה ב-15 השנים הקרובות. כדי לעשות זאת, עלינו להבין קודם מהן בכלל בינה מלאכותית, רובוטיקה ומדעי נתונים, מה הקשר ביניהן, וכיצד התפתחו בעשורים האחרונים – ומהי הקפיצה הגדולה קדימה שהתרחשה בעשור האחרון במיוחד.

2. בינה מלאכותית

קיימות פרשנויות שונות למונח "בינה מלאכותית". עם זאת, ההגדרה הכללית ביותר מגיעה מדו"ח "חזית בלמידת מכונה" (Frontiers in Machine Learning) של סוכנות האקדמיות הלאומיות למדע, הנדסה ורפואה בארצות הברית (National Academy of Sciences, 2018). לפי דו"ח הסוכנות, בינה מלאכותית היא –

"כל שיטה לתכנות מחשבים המאפשרת להם להוציא לפועל מטלות או דרכי התנהגות שהיו מחייבות אינטליגנציה אילו היו מבוצעות על-ידי בני-אדם".

בשנים הראשונות למחקר ופיתוח הבינה המלאכותית, התרכזו תשומת הלב המחקרית בשני כיוונים מרכזיים: בינה מלאכותית מבוססת-חוקים, ובינה מלאכותית לזיהוי תבניות ברמה הסטטיסטית. כיוונים אלו תוארו גם על-ידי מנהל המשרד לחדשנות בד"רפ"א, כגל הראשון והשני בבינה מלאכותית, בהתאם.

« הגל הראשון בבינה המלאכותית – מערכות מבוססות-חוקים

בגל הראשון של הבינה המלאכותית, ניסו החוקרים ליצור מערכות מבוססות-חוקים, שיוכלו להתמודד עם מספר רב של מטלות באמצעות מספר מוגבל של חוקים שתוכנתו לתוכן על-ידי המומחים. מערכות שכאלו כללו, למשל, את תוכנת "Logic Theorist" של הרברט סיימון, אלן ניואל וג'ו.ס. שאו, שהודגמה בשנת 1956 והצליחה להוכיח אוטומטית עשרות משפטים מתמטיים מ-"פרינציפיה מתמטיקה" (Gugerty, 2006). סיימון ועמיתיו הכריזו שיצרו "מכונה חושבת" (McCorduck, 2004) – ואכן כך היה, אלא שחשיבה מופשטת בלבד לא הספיקה לענות על הציפיות הגדולות יותר שנתלו בבינה המלאכותית.

תוך זמן קצר גילו חוקרי הבינה המלאכותית כי מערכות מבוססות-חוקים מתקשות להתמודד עם מלוא המורכבות של העולם הפיזי ושל החברה האנושית. מערכות אלו מנסות לפרק את הסביבה עמה הן מגיבות למספר רכיבים מרכזיים, להבין את השפעתו של כל אחד מהם ולהגיע להחלטה בנוגע לפעולה המתאימה ביותר. הן יכולות ליישם כללי היגיון פשוטים שתקפים עבור בעיות מוגדרות היטב, אך הן מתקשות יותר להתמודד עם בעיות פתוחות ועם מצבי אי-ודאות. בחלק מהמקרים מוגבלות המערכות הללו גם בשל פרדוקס פוליני, לפיו – "אנו יודעים יותר מכפי שאנו יכולים להסביר". כלומר, במקרים רבים איננו יכולים אפילו לפרק את הדרישות מהמכונה לכללים ולחוקים ברורים (Autor, 2014).

התוצאה היא שמערכות מבוססות-חוקים, על כל יכולותיהן המרשימות בפתרון בעיות מתמטיות, מתקשות להתמודד בהצלחה עם מספר רב של אתגרים 'מהעולם האמיתי': זיהוי עצמים, תרגום, ראייה ממוחשבת, זיהוי כתב יד, זיהוי והבנת דיבור, זיהוי פנים ועוד. המערכות הללו לא מימשו את התקוות הגדולות שנתלו בתחום הבינה המלאכותית, וכתוצאה נכנס תחום הבינה המלאכותית ל"שינת חורף" במשך החצי השני של המאה ה-20. אך במהלך תקופה זו, נזרעו הזרעים לגל השני של הבינה המלאכותית.

³⁷ Smart Robotics, Artificial Intelligence & Data Science -RAID

» הגל השני של הבינה המלאכותית – המערכות הלומדות

ב-1957 הודגם הפרספטורן: המכשיר הראשון שניסה לחקות את הדרך בה פותרים מוחות ביולוגיים בעיות מורכבות. הפרספטורן היה מתקן בעל 400 חיישני תאורה, שחוברו לשכבה בודדה של "נוירונים מלאכותיים" – כלומר, לסימולציה של מרכזי חישוב פשוטים, שהעבירו מידע זה לזה. בניו יורק טיימס נסקר הפיתוח באהדה, ונכתב כי מדובר ב- "העובר של מחשב אלקטרוני שמומחי הצי מצפים שיוכל ללכת, לדבר, לראות, לכתוב, לשכפל עצמו ולהיות מודע לקיומו." (New York Times, 1958)

הפרספטורן הוא הדוגמה הראשונה לעיקרון הפעולה של רשתות עצבים מלאכותיות. ברשתות העצבים המלאכותיות המשוכללות של היום ניתן למצוא מספר רב של שכבות, שכל אחת מהן מבצעת פעולה פשוטה אחרת של עיבוד מידע, והתוצאות מועברות לשכבה הבאה. ניתן לאמן את רשתות העצבים הללו לבצע מטלות רבות באמצעות תהליך של אימון ולמידה, במהלכו הן מורצות על אלפי ומיליוני דוגמאות על מנת לרכוש 'אינטואיציה' בנוגע לדרך העבודה היעילה ביותר.

אלא שבאותן השנים, הפרספטורן לא היה מסוגל לעשות כמעט דבר, מסיבות שעלינו להבין כדי לקבל הצעה לעתידן של המערכות הלומדות.

הסיבה הראשונה הייתה אמצעי החישוב המוגבלים שעמדו לרשות האנושות באותו הזמן. שכבת הנוירונים המלאכותיים הבודדה שבלב הפרספטורן הורצה על מחשב IBM 704, שבאותו הזמן תפס חדר שלם. אנו מבינים כיום שכדי ליצור מערכות לומדות יעילות המבוססות על רשתות עצבים מלאכותיות, יש צורך במספר רב של שכבות נוירונים – והרצת כל שכבה כזו לפני חמישים שנים הייתה משימה שאפילו מחשבי-העל המתקדמים ביותר לא היו מסוגלים לעמוד בה. אלא שמאז פעל חוק מור שהכפיל את יכולות המחשבים (בהערכה גסה) מדי שנה וחצי, ובעשור האחרון הודגים כי מעבדים גרפיים (GPU) יכולים להריץ רשתות עצבים מלאכותיות ביעילות גבוהה, והתחום כולו פרץ קדימה (Hernandez, 2013), עם סימולציות של מיליוני עצבים מלאכותיים. בזכות הקפיצה ביכולות החישוב, אמר החוקר אנדרו אנג בראון בספר *מכונה, פלטפורמה, קהל*, כי – "הקבוצות בחזית הקדמה עושות דברים מסובכים מטורפים ב-GPUs שלא יכולתי לדמיין מעולם לפני שנתיים או שלוש". (McAfee & Brynjolfsson, 2017)

הסיבה השנייה שהמערכות הלומדות מצליחות כיום יותר מאי-פעם, היא שאנו מצליחים להרוות את הצמא הגדול שלהן במידע. מערכות אלו אינן פועלות לפי חוקים מוגדרים מראש, אלא מזהות בעצמן חוקים וקווים לפעולה יעילה באמצעות מעבר על מספר עצום של דוגמאות. המערכות פועלות, לכל היותר, על מודלים סטטיסטיים ראשוניים שמפתחים המהנדסים – ואז המודלים הללו עוברים עידון אוטומטי באמצעות מעבר על אלפי דוגמאות. זוהי "למידה תחת הנחיה" (supervised learning). סוג אחר של למידת מכונה הינו "למידה ללא הנחיה" (unsupervised learning), במסגרתו מפתחות המערכות הלומדות מודלים משלהן להשלמת המשימה, ללא מעורבות אנושית. בדרך זו, למשל, הצליחה מערכת למידה עמוקה לזהות בכוחות עצמה תמונות של חתולים לאחר שעברה על עשרה מיליון תמונות (Quoc V. Le, 2012).

החוסר במידע היווה אתגר גדול באמצע המאה העשרים, אך כיום האינטרנט מציף אותנו במידע. חברות כמו גוגל, פייסבוק ואחרות אוספות את כל התמונות, הטקסט, דגימות הקול, הסרטונים ומידע רב אחר שמעלים המשתמשים, ומשתמשות בכל המידע הזה כדי לאמן את הבינות המלאכותיות שלהן. ככל שהן מסוגלות להזין לבינות הללו כמות מידע גדולה יותר, כך הבינות הללו מסוגלות להצליח יותר בביצוע מטלותיהן.

הסיבה השלישית היא פריצת הדרך שהחלה עם הצלחתו של פרופ' ג'ף הינטון מאוניברסיטת טורונטו לבצע אופטימיזציה מתמטית למידע הנצבר ברשתות הנוירונים המלאכותיים, כך שתהליך הלמידה מואץ ככל שעולים בשכבות המרכיבות את הרשת הנוירנית. הקוד של 'למידה עמוקה' (כפי שכינה אותו פרופ' הינטון) אינו מספיק בשל עצמו כדי לייצר חשיבה הגיונית מורכבת, אבל הוא מרכיב הכרחי בבינה מלאכותית היום, כולל ווטסון של IBM, מנוע החיפוש של גוגל והאלגוריתמים של פייסבוק. שילוב של כח מחשובי מוגבר וחישוב מקבילי, נתוני עתק ואלגוריתמים עמוקים הביא להצלחה "בין לילה" של הבינה המלאכותית, לאחר 60 שנות הכנה (Kelly, 2014).

רשתות העצבים המלאכותיות מגיעות כיום להישגים המרשימים ביותר בכל תחום הבינה המלאכותית, ולמעשה הפכו להיות הפרדיגמה השלטת בתחום. ברשימת ההצלחות שלהן ניתן למצוא (נכון לרגע כתיבת דו"ח זה בתחילת 2018) –

- זיהוי פנים ברמת הצלחה שעולה על זו האנושית (Harris, 2015)
- זיהוי עצמים בתמונות (Johnson R. C., 2015)
- שליטה ברכבים אוטונומיים וברחפנים (Bourzac, 2006)
- תמלול דיבור ברמת הצלחה שעולה על זו של אנשי המקצוע האנושיים בתחום (Gershgorn, 2016)
- תרגום שפות – כולל אלו שהבינה המלאכותית לא אומנה ספציפית עבורן, באמצעות זיהוי דמיון בין שפות שונות (Quach, 2016)

בזכות השימוש במערכות הלמידה העמוקה, הצליחה גוגל בסוף 2015 לנצח את שחקן הגו הטוב ביותר בעולם, לי סדול. משחק ה- "גו" נחשב למשחק לוח מורכב בהרבה משחמט, ולמעשה היה משחק הלוח העתיק היחיד שנותר למחשבים לפתור. הבינה המלאכותית ניצחה את סדול 4:1. שנה וחצי לאחר מכן, הודגמה בינה מלאכותית חדשה – אלפא גו זירו – שלימדה את עצמה לשחק גו **ללא מידע כלל**, אלא רק באמצעות משחק כנגד עצמה וללא סיוע אנושי. בשנת 2017 ניצחה אלפא גו זירו את הבינה המלאכותית הקודמת (David Silver, 100:0, 2017).

אלו הישגים מרשימים, וברור לכל המעורבים בתחום כי מדובר רק ביריית הפתיחה של מהפכת המערכות הלומדות. כיום ניתן למצוא בגוגל בלבד יותר מאלף פרויקטים המבוססים על מערכות למידה עמוקה, וכל חברות הטכנולוגיה מתחילות לשלב מערכות מסוג זה במוצריהן. עם זאת, חשוב להבהיר שלמערכות אלו יש עדיין מגבלה גדולה אחת: הן אינן מזהות חוקיות מוגדרת, אלא פועלות באופן סטטיסטי בלבד. מכיוון שכך, הן נכשלות ב- "אתגר הסיביות": לא ניתן להבין בדיוק מדוע קלט מסוים הפך לפלט, אלא בניחוש.

אתגר הסיביות עתיד לקבל מענה בגל השלישי של הבינה המלאכותית.

» הגל השלישי של הבינה המלאכותית – המערכות שחושבות על עצמן

הגל השלישי אותו חוזה מנהל המשרד לחדשנות בד"רפ"א, יוביל למערכות שיוכלו להסביר כיצד הן עצמן פועלות. מערכות אלו יהיו דומות למערכות הגל השני מבחינה זו שיוכלו ללמוד בעצמן נושאים חדשים, אך הן יוכלו גם לזהות את החוקיות שמאחורי פעולותיהן, ולנמק את החלטותיהן למשתמש. מערכות מסוג זה יוכלו לאמן את עצמן, להפיק תובנות מסוגים שונים של פעילויות וליישם את התובנות הללו עבור מטלות חדשות שלא ביצעו מעולם. קיימת גם אפשרות ממשית שהן יצליחו לפתח חשיבה מופשטת.

לא ברור מתי יתממש הגל השלישי של הבינה המלאכותית, אך עקב העניין (והמימון) הגדול בתחום מצד התעשייה, האקדמיה והממשל, והמשך ההתקדמות המהירה ביכולות הבינה המלאכותית, נראה סביר להניח שבינות מלאכותיות מהגל השלישי יגיעו לכדי מימוש ראשוני בחמש השנים הקרובות.

3. רובוטיקה חכמה

"אם כל כלי, כאשר קיבל את ההוראה או אפילו מרצונו שלו, היה יכול לעשות את העבודה המתאימה לו... הרי שלא היה צורך בשוליות עבור העובד המומחה, או בעבדים עבור האדונים." - אריסטו

הרובוטים זכו לשמם לראשונה בהיסטוריה בהצגת התיאטרון המפורסמת של קארל צ'אפק מ-1920, "הרובוטים האוניברסליים של רוסום", כעובדים בלתי-נלאים המשרתים את האנושות – עד שהם מתמרדים ומחסלים את כל בני-האדם. סופר המדע הבדיוני אייזיק אסימוב השתמש לראשונה במונח "רובוטים" ב-1941 כדי לתאר את עתיד טכנולוגיית המכונות במפעלים ובבתים. מאז ועד היום, רובוטים מוגדרים (בבסיסם, לפי מילון אוקספורד) כמכונות המסוגלות לבצע סדרה מורכבת של פעולות באופן אוטומטי.

כיום, רובוטים מפותחים בעיקר על מנת למלא ארבעה סוגי תפקידים שונים, לפי מודל ה-4D (Marr, 2017) –

- **Dull – משעמם:** עבודות משעממות ומייגעות, החוזרות על עצמן. למשל, עבודה במחסנים, כפקיד דלפק במלון, או אפילו כנהג.
- **Dirty – מלוכלך:** עבודות מלוכלכות שרוב האנשים אינם מעוניינים לעבוד בהם. למשל, ניקוי זבל, עבודה בביוב, חליבת פרות ועוד.
- **Dangerous – מסוכן:** עבודות מסוכנות כניטרול פצצות, פטרול באיזורי גבול, ניטור הרי געש פעילים וכדומה.
- **Dear – יקר:** עבודות שניתן להחליף בהן את הפועל האנושי ברובוטים על מנת לחסוך בכסף או בזמן.

הדור הראשון של הרובוטים הודגם בשנת 1962, בדמותו של Unimate – רובוט תעשייתי שנכנס לשימוש בפסי הייצור של חברת ג'נרל מוטורס. למעשה, מדובר 'רק' בזרוע ויד רובוטיות, שנועדו להתמודד בתהליכים בפס הייצור שהיו מסוכנים במיוחד לפועלים האנושיים.

הדור השני של הרובוטים נפתח בשנות השבעים, כאשר חיישנים התחילו להיות משולבים ברובוטים. הרובוטים בדור השני זכו ליכולת חישה, שאיפשרה להם להגיב לסביבתם באופן מתאים. בדור השלישי, שנפתח בשנות השמונים, הופיעו רובוטים הניתנים לתכנות מחדש בקלות יחסית, ושאדם יכול לשלוט בהם באמצעות בקרים ושליטים ייחודיים. בשלב זה החלו הרובוטים להופיע במגוון רחב של מפעלים וסביבות תעשייתיות, וביצעו מטלות ידניות רבות ושונות, כגון צביעה, ריתוך, ייצור ועוד.

כיום אנו עדים לדור הרביעי של הרובוטים, המסוגלים לנתח מצבים חדשים (כגון הרכב האוטונומי של גוגל), לשקול את סביבתם בזירות ולהתייחס אליה בהתאם (כמו הרובוט התעשייתי בקסטר, המסוגל להימנע מפגיעה בבני-אדם המתקרבים אליו), ואפילו להתייחס לרגשות אנושיים (כמו הרובוט פפר הנמכר ביפן כרובוט ביתי).

התפתחותם של הרובוטים תלויה במספר מגמות טכנולוגיות, שכולן התקדמו במהירות בעשורים האחרונים – וכתוצאה חיזקו גם את הרובוטים הכוללים את הטכנולוגיות הללו.

- **מזעור ושיפור ביכולות חישוביות:** כאמור בסעיף הקודם אודות בינה מלאכותית, יכולותיהם של מחשבים התפתחו במהירות בעשורים האחרונים, בהתאם לחוק מור. התפתחות זו הייתה חשובה במיוחד עבור רובוטים, מאחר ואלו תלויים בחומרה שהם יכולים לשאת עליהם. לא ברור עד כמה ניתן יהיה להמשיך למזער את רכיבי החישוב שעל הרובוט (בין היתר מכיוון שהתעשייה צפויה להתקל בקשיים במילוי אחר חוק מור בעשור הקרוב), אך טכנולוגיות האלחוט אמורות לאפשר לרובוטים להעביר חלק גדול מהנטל החישובי 'לענן' או למחשבים סמוכים.

- **קישוריות גוברת:** רובוטים רבים כיום יכולים להתחבר לאינטרנט, ולהעביר חלק מהנטל החישובי – כולל מטלות של עיבוד ראייה, זיכרון, וזיהוי עצמים – לענן. העוזרים הדיגיטליים כאמאזון אקו (Amazon Echo) וגוגל הום (Google Home) מסתמכים על מנגנון זה בדיוק, בהצלחה מרובה. מכיוון שכך, אין צורך באותו מספר רכיבים על הרובוט עצמו.

- **שיפור בטכנולוגיות החיישנים:** הרובוטים בדור השני ומעלה מסתמכים על חיישנים לתפקוד בסביבה משתנה. השיפור המתמיד בטכנולוגיות החיישנים בעשורים האחרונים הביא להתייעלות הרובוטים עצמם. מגמה זו צפויה להמשיך מאחר ועולם התעשייה מתרכז כיום במזעור החיישנים ובהוזלת מחיריהם (Kanoun, 2005).

- **שיפור בדחיסות מקורות האנרגיה:** סוללות יון-ליתיום השתפרו דרמטית בין 1995 ל-2005, והכפילו את צפיפות האנרגיה האגורה בתוכן באותן שנים. מאז חלה האטה בקצב השיפור בצפיפות האנרגיה, ויש הטוענים שלא ניתן לשפר את הסוללות באופן משמעותי (Deign, Are Lithium-Ion Batteries Reaching the Point of Diminishing Returns?, 2016). עם זאת, קיימים כיווני התפתחות חדשים ומבטיחים כגון סוללות מצב מוצק של יון-ליתיום (Yuki Kato, 2016), תאי דלק חדשניים (Kun Joong Kim, 2016) וסוללות מבוססות גרפן (Peleg, 2016).

▪ **שיפור בבינה המלאכותית:** רובוטים הם רק המימוש הפיזי של הבינה המלאכותית – המוח ששולט בגוף. ההתפתחויות המרשימות בבינה המלאכותית הובילו באופן ישיר לשיפור תפקודי הרובוטים. מכיוון שהבינה המלאכותית צפויה להמשיך להשתפר בשנים הקרובות, ברור שגם הרובוטים יתקדמו ביחד איתה.

כתוצאה מהתפתחות כל המגמות הללו, הרובוטים מתחילים לבצע כיום מגוון רחב של מטרות. רכבים אוטונומיים מתחילים לנסוע בכבישים, רחפנים משנעים סחורות בשמים, רובוטים בצורת מדפסות תלת-ממד מייצרים חפצים בבתים פרטיים ובמפעלי-ענק, מטבחים רובוטיים מתחילים להיכנס לפעולה, ורובוטי שמירה מסתובבים כבר ברחובות סאן פרנסיסקו ומפחידים את ההומלסים. נרחיב את היריעה על כל אלו בחלק בעבודה שסוקר את השימושים ברובוטים בסקטורים השונים בתעשייה.

4. טכנולוגיות ומדעי המידע

ניתן לחלק את טכנולוגיות ומדעי המידע הרלוונטיים לעבודה הנוכחית למספר תת-תחומים –

- **טכנולוגיות לאיסוף מידע:** טכנולוגיות האוספות מידע לשימושים שונים, כגון האינטרנט של הדברים על כל חיישניה.
- **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.

טכנולוגיות לאיסוף מידע

האינטרנט איפשר לראשונה לממשלות ולתעשיות לאסוף בקלות מידע מכל אדם בעלות אפסית. בזכות כמויות המידע הללו, התפתחו מערכות הבינה המלאכותית (כאמור בסעיפים הקודמים) במהירות, והן צפויות להמשיך להתפתח וללמוד כל עוד ימשיכו להיות מוזנות במידע. עם זאת, המידע החדש לא יגיע רק מהאינטרנט 'המסורתי' – כלומר, ממשתמשים אנושיים הגולשים ברשת דרך מכשירי הקצה שלהם, אלא גם מפרדיגמה טכנולוגית חדשה: האינטרנט של הדברים.

האינטרנט של הדברים מתבסס על חיישנים המתחילים להופיע בעצמים רבים, ומשדרים את ממצאיהם לענן המידע. כבר היום קיימים בערך 27 מיליארד מכשירים המחוברים לרשת, ומספרם צפוי לגדול ב-12 אחוזים בערך מדי שנה, עד שב-2030 יהיו 125 מיליארד חפצים המחוברים לאינטרנט של הדברים (IHS Markit, 2017).

האינטרנט של הדברים תספק מידע על כל המתרחש בעולם, ותהיה אחראית לגדילה הדרמטית בכמות המידע המגיעה מהרשת, שמשוערכת ב-50 אחוזים בשנה (IHS Markit, 2017). עם זאת, כדי להשתמש במידע זה ביעילות יהיה צורך בטכנולוגיות ובשיטות לעיבוד ולניתוח.

טכנולוגיות לעיבוד ולניתוח מידע

כאשר המידע הופך למשאב הנמצא בשפע, המגבלה המרכזית טמונה ביכולתנו לנתח אותו ולהפיק ממנו מסקנות ותובנות. זו הסיבה שטכנולוגיות לעיבוד ולניתוח מידע חשובות כל-כך כיום, ועומדות לגדול בחשיבותן בעשור הקרוב. כריית מידע (data mining) חכמה מאפשרת לעבור על כמויות גדולות של מידע ולהפיק ממנו רק את התובנות החשובות ביותר. באופן דומה, טכנולוגיות לחיזוי אנליטי מאפשרות לגבש תובנות בנוגע לעתיד מתוך כמויות גדולות של מידע.

טכניקות וטכנולוגיות אלו הינן בעלות פוטנציאל גדול לייעול תהליכים, אך הן מחייבות רמה גבוהה של אוריינות סטטיסטית מצד המפעילים אותן. כדבריו של ד"ר תמיר ליבל, שמשלב במחקריו את מדעי החברה ואת מדעי המידע – "חשוב לוודא שהאנשים שמשתמשים באלגוריתמים יודעים גם להבין מה משמעותם, מתי הם מתאימים לשימוש ספציפי ומה המשמעויות המלאות והסטטיסטיות של התוצאות. **צריך להקנות אוריינות סטטיסטית ואלגוריתמית לאנשי הממשל**, ואפשר אפילו לחשוב על מכון לאומי שיבחן את האלגוריתמים בהם משתמשים המגזרים הציבוריים והפרטיים."

טכנולוגיות מבוססות-בלוקצ'יין

טכנולוגיות בלוקצ'יין הופיעו לראשונה בדמותו של הביטקוין – שהיה הפיתוח הראשון שהסתמך על עקרון הבלוקצ'יין, במקביל להמצאת העקרונות הללו. טכנולוגיות בלוקצ'יין מאפשרות לבזר את החישובים הנחוצים לשמירת ותחזוקת 'פנקס גלובלי' (global ledger). במקרה של הביטקוין, הפנקס הגלובלי אוצר בתוכו את כל הטרנסאקציות שאי-פעם נערכו במטבע הביטקוין, ומיליוני ליבות חישוב מסביב לעולם מוודאות שכל טרנסאקציה חדשה מאומתת ומאושרת, על מנת למנוע רמאות והונאה. מדי עשר דקות, בממוצע, מתווספות כל הטרנסאקציות שאומתו לבלוק חדש של מידע, שעובר הצפנה ו- 'מחובר' לבלוקים שקדמו לו, ליצירת "שרשרת בלוקים", או בלוקצ'יין בלועזית.

את כוח המחשוב הנדרש לביצוע הפעולות הללו, מספקים 'כורים' (miners) מסביב לעולם, דרך רשת האינטרנט. הכורים מריצים אלגוריתמים על מחשביהם שמאמתים את הטרנסאקציות השונות ומתחרים ביניהם בהצפת הבלוקים החדשים ובבדיקת ההצפנה. הכורים מתוגמלים על מאמציהם הגדולים (המחייבים השקעה גדולה בכוח מחשוב ובאנרגיה), בכך שהם יכולים לזכות במטבעות ביטקוין חדשים שהמערכת יוצרת באופן אוטומטי. בדרך זו המערכת משמרת את עצמה: יש אינטרס לכולם שהיא תמשיך לעבוד, וכל עוד אנשים ימשיכו לשאוף לרווח עצמי – הם ימשיכו להריץ את האלגוריתמים שמתחזקים את המערכת, ומתגמלים את הכורים על הדרך.

על אף הספק הגדול שליווה את מטבע הביטקוין בשנותיו הראשונות, טרם התבצעה אפילו פריצה אחת שהסתמכה על פגמים בקוד של הביטקוין³⁸. במיוחד עתה, כאשר ערך מטבע ביטקוין בודד נע בין 5,000 ל-20,000 דולרים, ניתן לומר ברמת ודאות גבוהה שאילו היו נקודות תורפה בטכנולוגיית הבלוקצ'יין שמאחוריו, הן היו מתגלות כבר.

הביטקוין הוא דוגמה לכוח הגדול של מערכות מבוססות בלוקצ'יין, המסוגלות לבזר תהליכים שהיו דורשים בעבר כוח מחשוב של מדינות שלמות (ואכן, אבטחת הביטקוין המבוצרת צורכת כיום יותר חשמל מכפי שמדינות רבות צורכות). עם זאת, מדובר באב-טיפוס בלבד – הדגמה ראשונית של עקרון הבלוקצ'יין שנהגה לראשונה לפני תשע שנים. ברור שמערכות מבוססות-בלוקצ'יין ימשיכו להתפתח בעשור הקרוב, ובשנה האחרונה במיוחד חלה פריחה גדולה בתחום, עם השקעות של יותר מ-6.5 מיליארד דולרים בחברות מבוססות-בלוקצ'יין... על אף שאף אחת מהן, נכון לתחילת 2018, עוד לא הביאה לשוק מוצר המתפקד בהצלחה בקנה-מידה גלובלי (Ponciano, 2017).

מדוע ההתלהבות הגדולה מטכנולוגיות מבוססות-בלוקצ'יין? חשוב להבהיר שכרגע מדובר עדיין בטכנולוגיות בראשית דרכן, ויידרשו כפי הנראה עוד מספר שנים עד שטכנולוגיות אלו יוכלו לתמוך בהייפ הגדול שנוצר מסביבן. עם זאת, כאשר הן יגיעו לרמה הנדרשת, הן יאפשרו להעביר מספר רב של פעולות חישוביות לענן המבוזר.

את הבסיס למערכות הבלוקצ'יין העתידיות ניתן למצוא כיום במערכת בשם אתראום (Ethereum), המתפקדת באופן דומה לביטקוין: היא מאפשרת לכורים מכל העולם להריץ אלגוריתמים כדי לתמוך במערכת, ומתגמלת אותם במטבעות את'ר (Ether). פעולתם המשותפת של הכורים יוצרת את מה שוויטליק בוטריין, איש החזון שמאחורי אתראום, הגדיר כ- "מחשב קסום בענן... שכל אחד יכול להריץ עליו תוכנות והתוכנות האלו יכולות לדבר זו עם זו". התוכנות מורצות "בדיוק כפי שתוכנתו, ומבלי סיכוי לרמאות, צנזורה, או הפרעה של צד שלישי"

פרופ' רועי פרידמן מהטכניון הסביר במאמר שהתפרסם במגזין הפקולטה למדעי המחשב כי אתראום הינה למעשה מחשב בענן עליו אפשר – "... לכתוב חוזים חכמים בקלות. החוזים האלו מגדירים איך כסף וירטואלי עובר בין חשבונות שונים. אפשר להגדיר תוכניות חיסכון, הגרלות – כשהרבה אנשים מעבירים לחוזה החכם כסף ואז יש חלוקה מחדש, עם עמלה למי שכתב את החוזה החכם – ועוד. אם חוזה חכם כזה מורץ על התשתית של אתראום, הוא עוקף את כל המערכת הבנקאית."

כוחן של המערכות מבוססות הבלוקצ'יין צריך להיות ברור מהפסקאות האחרונות: הן מאפשרות לבזר לחלוטין את עבודתם של המתווכים – הבנקים, חברות הביטוח, מערכות משפט (המפגישות בין השופטים והאנשים

³⁸ אין בכך כדי לומר שלא היו פריצות או גניבות מוצלחות, אלא שהגנבים התמקדו בנקודות תורפה שאינן קשורות למטבע הביטקוין עצמו או למערכות הבלוקצ'יין שמאחוריו. למשל, הם פרצו לאתר המרת מטבעות מקוון, והשתלטו על המחשבים על מנת לגנוב מטבעות ביטקוין מהחברה.

המעורבים בסכסוך) ועוד. לפיכך, מערכות אלו הינן בעלות פוטנציאל ממשי לערער את המערכות העולמיות שהתבססו עד כה – ולהתחיל לעשות זאת כבר בעשר השנים הקרובות.

אנו בוחרים, לפיכך, לכלול את המערכות מבוססות-הבלוקצ'יין בדו"ח זה – גם בשל ההשפעה הגדולה הצפויה מהן, אך גם מכיוון שבדומה לתחומי הבינה המלאכותית והרובוטיקה, גם מערכות אלו עושות אוטומציה למטלות רבות בשוק העבודה. לפיכך, חשוב להבין את השפעתן ולהיערך אליה בהתאם בכל תכנית לאומית הדנה בעתיד האוטומציה.

בהמשך הדו"ח נסקור תחזיות שונות בנוגע להשפעתן של טכנולוגיות הבלוקצ'יין על הסקטורים השונים במגזר הציבורי ובמגזר הפרטי.

5. תחומי על טכנולוגיים לטכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי המידע ורובוטיקה חכמה

אם ברצוננו להבין כיצד להיערך לטכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה באופן מיטבי, הרי שעלינו לפענח קודם את תת-התחומים שעליהם מבוססות טכנולוגיות אלו ולזהות עבור כל תת-תחום את ההזדמנויות, האיומים והצרכים שיש להגשים כדי לממש את הפוטנציאל הטמון בתת-התחום עבור ישראל.

בחלק זה של העבודה פירקנו את טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה למספר רב של תת-תחומים לפי הספרות המקובלת בתחום, וחברנו אותם מחדש תחת מספר קטן יותר של תחומי-על, שדורשים תחומי הכשרה דומים מהעובדים בהם.

על מנת לפלח את טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה, ובעיקר את תחומי הבינה המלאכותית, לתת-תחומים שונים הסתמכנו על תוצאות הסקירה של חברת Callaghan Innovation, שהפיקה 16 תת-תחומים (Callaghan Innovation, 2017). עם זאת, בחרנו כאמור לאחד חלק מתת-התחומים כאשר התגלתה חפיפה משמעותית ביניהם.

איור 27: תת-תחומי הבינה המלאכותית לפי Callaghan Innovation.



מקור: (Callaghan Innovation, 2017)

תחום-על: מערכות אוטונומיות

מערכות אוטונומיות ניחנות ביכולת קבלת החלטות מוגבלת משל עצמן. מערכות אוטונומיות מתקשות במיוחד לתפקד בסביבות לא-רוטיניות, אך ההתפתחויות הטכנולוגיות מאפשרות להן להתחיל להתמודד גם עם סביבות מסוג זה, ככבישים עירוניים.

הדוגמה המוכרת ביותר של מערכות אוטונומיות היא המכונית האוטונומית, המסוגלת להתנייד בכוחות עצמה בכבישים (Lang, 2017). הרכב האוטונומי הידוע ביותר הוא מתוצרת גוגל, אך מאז נכנסו כבר חברות נוספות רבות לשוק זה, וכיום יש יותר מ-320 חברות המעורבות בתחום הרכבים ללא-נהג (Sage, 2018). מכון אפסן זיהה 58 ערים שבוחנות כיצד לשלב רכבים אוטונומיים בכבישים, ו-29 ערים נוספות (כולל תל אביב) שמתחילות להיערך למהפכה זו (The Aspen Institute, 2017). אחת המובילות הגדולות בתחום – אובר – כבר חתמה על חוזה עם וולוו לרכישת 24,000 מוניות אוטונומיות (Gibbs, 2017). לפי גרטנר, יידרשו לרכבים האוטונומיים עוד יותר מעשר שנים עד להשתלבות מלאה בחברה (Panetta, 2017).

מכל האמור לעיל ברור שקיימת היערכות כללית לקראת שילובן של מערכות אוטונומיות בזירה הציבורית, אך חשוב להדגיש לא מדובר רק ברכבים אוטונומיים. רחפנים (Aerial drones) ורכבים מעופפים מתחילים לזכות באוטונומיות משלהם (Williams, 2017).

מערכות אוטונומיות יכולות לבצע מטלות חשובות גם בסביבות מבוקרות היטב, כחדרי ניתוח (רובוטים מנתחים), מטבחים (רובוטים טבחים) ובמפעלים תעשייתיים (רובוטים לייצור). בנוסף, הן מסוגלות לענות על צרכיהם הרגשיים והפיזיים של אינדיבידואלים – למשל, של חולים או קשישים המרותקים למיטותיהם ומבודדים ממשפחותיהם.

ניתן לחלק תחום זה למספר תת-תחומים טכנולוגיים שונים –

- **טכנולוגיות חיישנים מתקדמות:** מערכות אוטונומיות בסביבות לא-רוטיניות זקוקות לחיישנים משוכללים ויעילים לביצוע תפקידיהן בהצלחה. חיישנים אלו כוללים, בין היתר, לידאר, מצלמות, GPS ויחידות לאומדן אינרציה.
- **רובוטיקה בענן (Cloud robotics):** המערכות האוטונומיות יוכלו לתקשר זו עם זו, ללמוד זו מזו בזמן אמת ולתפקד במקביל אחת לשנייה מבלי שהות או אי-ודאות.
- **למידת מכונה:** תחום-העל של המערכות האוטונומיות בסביבות לא-רוטיניות קשור באופן בלתי-נמנע לתחום-העל של למידת מכונה.
- **רובוטים סיעיים:** רובוטים מסוג זה מסוגלים לתקשר עם בני-אדם ולספק מענה לצרכיהם הפיזיים והרגשיים.

תחום-על: למידת מכונה

תחום-העל של למידת המכונה מתבסס על אלגוריתמים (בשילוב עם חומרה מותאמת) המסוגלים להפיק תובנות ממידע המוזן להם. תחום זה כולל גם את תתי-התחומים הבאים –

- **למידה עמוקה:** שימוש במספר שכבות של רשתות עצבים מלאכותיות לזיהוי תבניות, דיבור, פנים, ואפילו לזיהוי אסטרטגיות חדשות וייחודיות.
- **זיהוי תבניות:** ענף המסתמך על למידת מכונה ולמידה עמוקה לזיהוי תבניות ודפוסים במידע.
- **מחשוב נירומורפי:** אמצעי החישוב המתאימים ביותר להרצת אלגוריתמים של למידת מכונה אינם דומים לשבבי הסיליקון של תפישת המחשוב הקודמת. השבבים החדשים, המבוססים על עקרונות מחשוב נירומורפי (כלומר, כאלו המחקים את הביולוגיה של מערכות עצבים), מסוגלים להריץ רשתות עצבים מלאכותיות ביעילות גבוהה (Hof, 2014).

לפי גרטנר, יידרשו ללמידת המכונה וללמידה העמוקה עוד 2-5 שנים עד להשתלבות מלאה בחברה (Panetta, 2017).

תחום-על: אינטראקציית אדם-מחשב

תחום-העל של אינטראקציות אדם-מכונה כולל תחומי בינה מלאכותית המאפשרים אינטראקציה נוחה, פשוטה ויעילה ככל האפשר עם המכונות. תחום זה כולל, לפיכך, את תת-התחומים של –

- **ניתוח שפה טבעית (NLP):** תחום זה של בינה מלאכותית מאפשר למחשבים לתמלל דיבור, לבצע ניתוח רגשי (sentiment analysis) של הנאמר / נכתב, לתרגם את המלל, לפענח את המשמעות של מילים ומשפטים, ולהפיק בטקסט ובמלל מילים ומשפטים חדשים שיהיו בעלי משמעות לבני-אדם. תחום זה הינו בעל חשיבות גדולה עבור עוזרים דיגיטליים כאלכסון אקו (Echo), סירי של אפל או Google Assistant.
- תת-התחום של NLP הינו בוגר יחסית, וקצב האימוץ הגובר של הטכנולוגיה בשנים האחרונות נובע בעיקר כתוצאה מהדיגיטיזציה הגוברת של טכנולוגיות בכל מקום, מהגדילה בכוח המחשוב הזמין למשתמשי הקצה, ומההתפתחות המהירה של טכנולוגיות ללמידת מכונה. כתוצאה, רווחי התחום אמורים לגדול ל- 5.4 מיליארד דולרים עד 2025 (Tractica, 2017).
- **צ'אטבוטים:** צ'אטבוטים הינם תוכנות שנועדו לתקשר עם משתמשים אנושיים בעולם המקוון באמצעות טקסט. הצ'אטבוטים המשוכללים ביותר מגיבים למשתמשים באופן דומה לדרך בה היה מגיב אדם אחר. תפקידם העיקרי כיום הוא לתת שירות בתחומי המכירות ושירות לקוחות (Accenture Interactive, 2016), אך הם מתחילים למצוא את דרכם גם לתעשיות הידע – למשל כדרך לספק טיפול פסיכולוגי דרך פייסבוק (Molteni, 2017), או אפילו כיועצים רפואיים ומשפטיים. גרטנר חוזים כי עד 2020, האדם הממוצע יתקשר יותר עם בוטים מאשר עם בן-אדם (Levy, 2016).
- **מחשוב רגשי וניתוח רגשות בזמן-אמת:** בתחום זה נכללים אלגוריתמים המסוגלים לנתח קול, הבעות פנים ואפילו אותות הנקראים מהמח האנושי, על מנת לזהות רגשות בזמן-אמת. תוכנות מסוג זה משמשות כיום במקרים רבים כדי להעריך את יעילותן של פרסומות (McDuff, Kaliouby, Cohn, & Picard, 2015). תחום המחשוב הרגשי צפוי להגיע להערכת שווי של כמעט 54 מיליארד דולרים עד 2021 (Markets and Markets, 2018).
- **עוזרים וירטואליים:** עוזרים וירטואליים הם אוטוארים בעלי מראה אנושי, המסוגלים לבצע אינטראקציות יעילות עם בני-אדם. האוטוארים יכולים להופיע על גבי מסכי המחשב, הסמארטפון או אפילו במציאות מדומה או רבודה. אוטוארים מסוג זה מתחילים כיום לספק שירות לקוחות עבור חברות מסחריות (Howarth, 2017). שוק העוזרים הווירטואליים החכמים אמור להגיע לשווי של 17.7 מיליארד דולרים עד 2023 (Markets and Markets, 2018).

תחום-על: טכנולוגיות לאיסוף מידע

טכנולוגיות לאיסוף מידע הינן קריטיות למהפכת בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה המתרחשת כיום. לא ניתן לדבר על למידת מכונה מבלי להתייחס גם לביג דאטה שמספק לה את הבסיס ללמידה, ומגיע ממחשבים רבים ומחיישנים מסביב לעולם. לא ניתן לדבר על רובוטים מתוחכמים מבלי להתייחס גם לחיישנים שעליהם. תת-התחומים של טכנולוגיות לאיסוף וניתוח מידע כוללים, לפיכך –

- **האינטרנט של הדברים:** האינטרנט של הדברים (Internet of Things – IoT) הוא מונח המתאר את כלל החיישנים בעולם הממוקמים על 'דברים' – על צעצועים ורכבים, מרצפות במדרכה, צינורות ביוב, בגדים ועוד. המונח כוללני במכוון, אך הוא מספק הבנה בנוגע לכיוון ההתקדמות בתחום איסוף המידע: הוספת יכולות חישה לכל עצם וחפץ, ויכולות תקשורת עם האינטרנט ועם חפצים אחרים. קיימות תחזיות שונות לגבי גודל שוק ה-IoT בשנים הקרובות, כאשר השאפתנית ביותר מתייחסת ל- 8.9 טריליון דולרים בשנת 2020 (Statista, 2018).
- **חיישנים עבור רובוטים:** קיימים סוגים שונים של חיישנים עבור רובוטים, כאשר החשובים והנפוצים מביניהם הם מערכות ראייה (עם שווי שוק משוער של 5.7 מיליארד דולרים עד 2027) וחישת מגע (6.9 מיליארד דולרים) (IDTechEx, 2017). לא ניתן להבין או לממש את ההתקדמות בתחום הרובוטיקה מבלי להתייחס גם לחיישנים הייעודיים עליהם מסתמכים הרובוטים.

- **איסוף מידע מהרשת:** חלק גדול מה- 'ביג דאטה' מושג כיום מהרשת, לעתים קרובות גם עם פרשנות המלווה את המידע ומאפשרת להבין את סוג המידע בו מדובר. המידע מגיע פעמים רבות מהמשתמשים עצמם – בין באופן מכוון, למשל באמצעות העלאת תמונות אישיות לפייסבוק, או באופן לא-מכוון, כגון באמצעות חיפוש אחר "חתול" ולחיצה על התמונה המתאימה ביותר (סדרת פעולות המתועדת ע"י גוגל). המידע מהרשת, במיוחד הוויזואלי, מאפשר לאמן את מערכות עיבוד הראייה וזיהוי הפנים והעצמים המשוכללות הנמצאות כיום בידי חברות האינטרנט.
- **מחשוב לביש:** קטגוריה חשובה במיוחד של חיישנים היא זו של מחשוב לביש. מחשוב לביש כולל את כלל החיישנים שעל גופינו – ויש שיאמרו שגם את הטלפונים החכמים שאנחנו נושאים בכיסינו. המכשירים הלבישים העיקריים אליהם מתייחסת גרטנר בראייה ל- 2021 כוללים שעונים חכמים, מצגי-ראש נישאים (Head-mounted displays), מצלמות על הגוף, אוזניות בלוטות', צמידים חכמים, שעוני ספורט ואמצעים אחרים לניטור כושר. בשנת 2021 צפויים להימכר 504 מיליון חיישנים לבישים מכל הסוגים הללו (Gartner, 2017).
- **מערכות צילום ממוחשבות:** שוק המצלמות במעגל סגור (CCTV) צפוי רק להמשיך לגדול ולהגיע לשלושים מיליארד דולרים עד 2020 (Global Industry Analysts, Inc., 2015). בזכות הקישוריות הגוברת לרשת ניתן להשתמש במידע המגיע ממצלמות אלו כדי לנתח אירועים בזמן-אמת, או לאסוף את המידע לצרכי למידת מכונה.

תחום-על: אבטחת סייבר

- לא ניתן לסקור את טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה ועתידן מבלי להתייחס גם לאבטחתן. רוב מכריע של מערכות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה בעתיד יהיו מחוברות לרשת האינטרנט, וככאלו יהיו פגיעות לתקיפות ולפריצות מן החוץ. בנוסף, מערכות אוטונומיות מסוימות מפותחות כבר היום על מנת לספק הגנת סייבר דינמית ומהירה, באמצעות למידת התוקפים והמתקפות והתאמה מחדש של יכולותיהן בכוחות עצמן. חלק מהמערכות האלו אמורות אפילו להיות מסוגלות להגיב בכוחות עצמן למתקפות חדשות – ואולי גם לכאלו שעדיין נמצאות בשלבי תכנון, וימוגרו באמצעות תקיפה מראש (DARPA, 2016).
- תת-התחומים של אבטחת סייבר כוללים –

- **למידת מכונה:** יש צורך בלמידת מכונה על מנת לפתח מערכות אוטונומיות להגנת ותקיפת סייבר.
- **האינטרנט של הדברים:** האינטרנט של הדברים עתידה להיות חלק בלתי-נפרד מחיינו בעשורים הקרובים, ויש צורך להבין כיצד ניתן להגן עליה – וגם כיצד ניתן להשתמש ב-'דברים' השונים ובמעבדים הנטועים בהם כדרך למתקפה במקרה הצורך.

תחום-על: מערכות מבוססות-בלוקצ'יין

- מערכות מבוססות-בלוקצ'יין יכולות להיות בעלות חשיבות קריטית לתעשייה, לממשל ולציבור בכללותו. חלק גדול מכוחן נובע מכך שהן יכולות להחליף מטלות רבות המבוצעות כיום על-ידי בני-אדם במספר רב של ארגונים שונים, באלגוריתמים פשוטים יחסית, הפועלים על פנקס גלובלי אחד ומבצעים טרנסאקציות אוטומטיות בהתאם להנחיות שניתנו להם.
- ניתן לפרק את המערכות מבוססות-הבלוקצ'יין למספר תת-תחומים –

- **קריפטו-מטבעות:** קריפטו-מטבעות כדוגמת ביטקוין, את'ר (של אתראום), Z-Cash ומונרו (Monero) מהווים חלק בלתי-נפרד מכל מערכת מבוססת בלוקצ'יין הפתוחה לציבור. יש צורך לתכנת את המערכות ה-'כספיות' האלו בדרכים שיאפשרו להן להיות ברות-קיימא לטווח ארוך ויענו על צרכי המפתחים והציבור.
- **קריפטוגרפיה והצפנה:** חלק מכוחן של המערכות מבוססות-הבלוקצ'יין מגיע מרמת ההצפנה הגבוהה שהן נהנות ממנה. פיתוחים בתחום חייבים להתייחס לרמות ההצפנה של המערכות הללו, כמו גם לבחון שימוש במערכות הצפנה מתקדמות יותר.
- **חוזים חכמים:** חוזים חכמים הינם למעשה תוכנות אוטונומיות המורצות במערכות מבוססות-בלוקצ'יין, ומבצעות טרנסאקציות באופן אוטומטי, לפי הגדרות שניתנו להן מראש – ולפי פרשנויותיהם עבור ההגדרות הללו. מספר רב של חוזים חכמים יכול להיות מאוגד תחת "ארגון מבוזר אוטונומי".

■ **ארגונים מבוזרים אוטונומיים:** ארגונים מבוזרים אוטונומיים הינם סוג חדש של ארגונים, בהם מספר רב של חוזים חכמים משולבים ביחד כדי לבצע פעילות של ארגון בענן, מבלי ניהול ריכוזי מלבד זה שמבצעים החוזים החכמים עצמם.

■ **תורת המשחקים והפעלת הציבור:** על אף שנראה במבט ראשון כי תת-תחום זה שייך יותר למחלקת הפסיכולוגיה והסוציולוגיה, יש לזכור כי מערכות מבוססות-בלוקצ'יין הפתוחות לציבור מחייבות מעורבות ציבורית גדולה בהרצת האלגוריתמים שמאחורי המערכות הללו. כלומר, יש לשכנע אינדיבידואלים וחברות להשקיע את כוח המחשוב שברשותם במערכות מבוססות-הבלוקצ'יין. מבלי הבנה מעמיקה בתורת המשחקים ובדרכים להפעלת הציבור, לא ניתן למעשה לממש את מלוא הפוטנציאל של מערכות מבוססות-בלוקצ'יין.

6. שימושים בטכנולוגיות לפי ורטיקלים

תחומי הבינה המלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה משפיע על ורטיקלים רבים כמו למשל פרסום (AdTech), חינוך (EdTech), כספים (FinTech), ביטוח (InsuranceTech), חוק ומשפט (LegalTech), תוכן ומדיה, קמעונאות, פילנתרופיה ועוד. למטרות העבודה הנוכחית נבחרו שישה ורטיקלים שונים לצורך הדגמת השפעות הטכנולוגיות על הוורטיקלים:

I. רפואה ובריאות

II. תחבורה ושינוע

III. אוטומציה תעשייתית

IV. בטחון

V. אנרגיה

VI. חקלאות

עבור כל ורטיקל בחנו כיצד תחומי-העל השונים מתחילים לתרום לו כבר היום, וכיצד הם צפויים לתגבר אותו בעתיד.

6.1. רפואה ובריאות

רפואה ומערכות אוטונומיות

אנו צפויים לראות חדירה דרמטית של רובוטים ומערכות אוטונומיות לתחום הרפואה. לפי דו"ח "בריאות ורובוטים 2015-2020: מגמות, הזדמנויות ואתגרים" (Robotics Business Review, 2015), נהיה עדים בשנים הקרובות להופעת רובוטים רפואיים משלושה סוגים עיקריים –

א. **רובוטים לטיפול ישיר בחולים:** רובוטים אלו יטפלו באופן ישיר בחולים, ללא תיווך. הם כוללים רובוטי טלה-פרזנס עבור רופאים (כך שרופא היושב בישראל יוכל לתקשר ישירות ואף לטפל בחולה באפריקה באמצעות רובוט מתאים במקום (Savoie, 2015)), רובוטים שיוכלו לבצע ניתוחים בסיוע רופא (כגון רובוט דה-וינצ'י הידוע, אשר מבצע מעל חצי מיליון ניתוחים בשנה ולמעלה משלושת אלפים מיחידותיו פרוסות ברחבי העולם (Intuitive Surgical, 2016)), הנשלט מרחוק על-ידי רופא ומסנן את רעידות הידיים הבלתי-מבוקרות שיוכלות לפגוע בדיוק ובהצלחת הניתוח (Intuitive Surgical, 2018), או אפילו רובוטים שיוכלו לבצע ניתוחים כמעט לגמרי בכוחות עצמם (כגון רובוט שהודגם לאחרונה בסין, וביצע ניתוח השתלת שיניים באופן אוטונומי ומבלי סיוע אנושי (South China Morning Post, 2017)). בשנים האחרונות, השתכללו הרובוטים הרפואיים באופן המעניק להם יכולות של הכוונת כלים רפואיים באופן מדויק בניתוחים כירורגיים בהתבסס על הדמיה רפואית מקדימה של המטופל, על מנת לצמצם נזק אפשרי (Seung et al., 2017). השימוש ברובוטיקה למטרות ניתוחיות בשילוב הנחיה מדייקת המבוססת מחשב נבחן ומיושם באופן מהיר אף בתחומים רפואיים נוספים (Peters, Armijo, Krause, Choudhury, & Oleynikov, 2018) כגון קולונוסקופיה (Eickhoff et al., 2007). בעתיד היכולות הרובוטיות צפויות אף להשתכלל ויתווספו אליהן יכולות חכמות שונות כגון הבנת מצבים רפואיים שונים תוך כדי הניתוח ופעולה בהתאם, כדוגמת תפירה או הכנסה אוטומטית של מחט

(Hoeckelmann, Rudas, Fiorini, Kirchner, & Haidegger, 2015). רובוטים אחרים לטיפול ישיר יהיו מחוברים לגופיהם של המטופלים וישמשו אותם בכל עת, כשלדים חיצוניים רובוטיים כגון אלו של Ekso Bionics (Ekso Bionics, 2018) או של חברת ReWalk הישראלית (ReWalk, 2018). גם פרוטוזות רובוטיות צפויות להפוך להיות מראה נפוץ יותר ויותר.

- ב. **רובוטים לטיפול עקיף בחולים:** רובוטים לטיפול עקיף כוללים רובוטים לבית המרקחת, שיכולים להכין תרופות ותכשירים בדיוק על-אנושי ובמהירות גבוהה (UCSF, 2011), רובוטי משלוחים (כולל רחפנים ורכבים אוטונומיים המסוגלים לשנע תרופות, תכשירים והתקנים רפואיים ליעד במהירות וביעילות, Leary, 2017), ורובוטי ניקוי וסטריליזציה בבתי-החולים ובבתים פרטיים (Magdalena, 2016). בנוסף, רובוטים כמדפסות תלת-ממד יוכלו לייצר גלולות או אפילו סוגי מזונות המכילים מינונים מדויקים של חומרים תרופתיים.
- ג. **רובוטים ביתיים:** רובוטי טלה-פרזנס יאפשרו לחולים ולקשישים המרותקים למיטותיהם להמשיך לקחת חלק בחיי היום-יום מחוץ לבית – החולים יוכלו להתחבר לרובוטים הללו דרך רשת האינטרנט, ולשלוט בהם גם במקומות מרוחקים (Wiercinski, 2015). רובוטים אחרים לבתים יוכלו לספק גם טיפול מוגבל לחולים, כנשיאתם ברחבי הבית.

רפואה ולמידת מכונה

קיימת ציפייה ברורה להשתלבות הולכת וגוברת של למידת מכונה בתחום הרפואה במספר כיוונים מרכזיים –

- א. **פיתוח מודלים רפואיים מדויקים יותר:** מודלים של למידת מכונה משמשים למעבר על כמויות מידע גדולות, במטרה לפתח מודלים רפואיים מדויקים יותר שיכולים לחזות התפתחות מחלות כרוניות ומצבים אקוטיים שונים. בדוגמה מ-2017, למשל, הצליחו חוקרים להריץ אלגוריתמי למידת מכונה שהפיקו מודלים מדויקים יותר לחיזוי הסיכוי לפיתוח מחלות לב (Stephen F. Weng, 2017).
- ב. **פענוח ממוחשב של הדמיות רפואיות:** כיום מתקיימים ניסיונות רבים לשלב בטיפול הרפואי את תחום הפענוח הממוחשב באמצעות למידת מכונה (ML - Machine Learning) ואינטליגנציה מלאכותית של הדמיות רפואיות מסוגים שונים. היתרון המשמעותי של שימוש בלמידת המכונה בהיבטי ההדמיה הרפואית, נובע מהעובדה שפענוח תוצאות הדמיה הינה משימה מורכבת אשר בשל השונות הרבה ומורכבות המידע המתקבל, אינה יכולה להסתמך על מודל יחיד פשוט ודורשת למידה מתוך המידע הרפואי עצמו (Suzuki, 2017). למידה זאת טומנת בחובה יתרונות רבים כגון האצת קצב האבחון והטיפול, רמת דיוק גבוהה מזו האנושית ויכולת להבחין בשינויים קטנים כאינדיקטורים להתפתחות מחלות. שיטות שונות המשמשות בהדמיה ממוחשבת מסתמכות, בין היתר, על בניית קלסיפיקציות (Classifiers) וכן על שימוש ב-Convolutional Neural Networks (Suzuki, 2017). שילוב הפענוח הממוחשב מתקיים במגוון תחומים רפואיים. מבין אלו ניתן למנות את תחום הגסטרואנטרולוגיה בו נעשה ניסיון לזהות את קיומן של מחלות שונות כגון מחלת הסרטן או מחלות דלקתיות של המעי באמצעות למידה ממוחשבת של תמונות הנאספות במהלך פרוצדורות רפואיות (גסטרוסקופיה או קולונוסקופיה) (Mori, Kudo, Berzin, Liu et al., 2016; Misawa, & Takeda, 2017).
- ג. **שיפור יכולות המחקר הרפואי והביולוגי:** מערכות למידת מכונה מסוגלות לעבור על מספר רב של מחקרים ביולוגיים ורפואיים על מנת לסייע לחוקרים בתחומים הללו. ווטסון של יבם הצליח, למשל, לעבור על 70,000 מאמרים מדעיים שקשורים לאנזים נוגד-הסרטן P53, ולחזות בהצלחה שבעה חלבונים בעלי יכולת להגיב עם P53. הישג זה אירע תוך שבועות ספורים של מחקר – שיפור דרמטי בקצב עד אותו הזמן, בו התגלה במוצע חלבון אחד בשנה המגיב עם P53 (Scott Spangler). שיטות נוספות של למידת מכונה מסייעות כיום לריצוף גנומי מהיר ומדויק (DePristo Mark & Poplin Ryan, 2017). קשה להעריך עד כמה יכולות מערכות למידת מכונה לשפר את המחקר הרפואי והביולוגי, אך ברור שקיים פוטנציאל גדול – הנחה שמקבלת משנה תוקף מהעובדה שהמעצמות הגדולות מתחרות כיום בשוק מחשבי-העל שיבצעו מטלות חישוביות מורכבות דומות.
- ד. **פיתוח מערכות לסייע בקבלת החלטות רפואיות:** פן נוסף של שימוש בתחומי הבינה המלאכותית נוגע לניצול מידע רפואי רב לטובת מערכות תומכות החלטות רפואיות בזמן אמת (Roosan, Samore, Jones, 2016; Livnat, & Clutter, 2016). מידע רפואי רב נשמר בתצורות שונות, ובהן, לדוגמה, במאגרי מידע של בתי חולים או מרפאות באופן אלקטרוני כ Electronic Health Records (Lee & Yoon, 2017) ומשמש לבניית

בסיסי מידע גדולים עליהם ניתן לבצע אנליזות ופרדיקציות שונות לטובת סיוע לרופאים בזמן אמת. מערכות מסוג זה מפותחות, בין היתר, בחברות גדולות (למשל מערכת ווטסון של IBM) (Kohn et al. 2014) ועושות שימוש בכלים שונים של בינה מלאכותית כגון (Natural Language Processing (NLP) (Janakiram, 2017) ומטרתן לסייע לרופא בהערכה ובאבחון, כמו גם בביצוע תחזיות (פרדיקציות) לאופן התפתחות מצבים רפואיים או מצבי סיכון (Glider, 2017) המהווים נדבך חשוב בשימושי ה Big Data למטרות רפואיות (Sahoo, Mohapatra, & Wu, 2016). ווטסון נמצא כבר בשימוש ביפן, שם הצליח לזהות סרטן יוצא-דופן ולהציל את חייה של חולה תוך עשר דקות – במהלכן בחן את הפרופיל הגנטי של האשה ביחס לעשרים מיליון מחקרים שהוזנו לתוכו (Indo-Asian News Service, 2016). ווטסון נבחן כיום בבתי-חולים ברחבי העולם, ולמרות שהוא זוכה להצלחה ראשונית, קיימים גם סייגים חשובים בנוגע להפעלתו, אליהם נתייחס בסוף סעיף זה, מאחר והם רלוונטיים לרבים מהשימושים של למידת מכונה ברפואה.

ה. **מעקב אחר מטופלים:** מערכות למידת מכונה יכולות לקבל מידע בזמן אמת מחיישנים נישאים (מחשוב לביש), מטלפונים חכמים וממכשירים אחרים בהם משתמשים המטופלים, ובדרך זו לאסוף מידע שישמש אותן לפיתוח מודלים רפואיים מוצלחים יותר, ולייעוץ רפואי בזמן-אמת. זאת, בין היתר, על מנת לצפות מראש ובזמן אמת אפשרות של שינוי במצב הרפואי הדורש התערבות כגון סיכוי לשבץ (Jiang et al., 2017; Hsieh, Li, & Villar, González, Sedano, Chira, & Trejo-Gabriel-Galan, 2015) או בעיות לב (Yang, 2013).

למרות כל השימושים המבטיחים הנ"ל, חשוב לציין שהבינה המלאכותית ולמידת המכונה עדיין לא הצליחו להשתלב במלואן במערכת הרפואית, ויש מקרים רבים של חיכוכים וסכסוכים בין המכונות לבין הסגל הרפואי. זוהי תוצאה צפויה ממערכות בראשית דרכן, אך יכול להיות שימושי לעבור על האתגרים שהתגלו מתוך השימוש בווטסון בבתי-חולים. אלו כוללים (Cohen, 2017) –

- **דגש על חשאיות תעשייתית:** יבמ נמנעה מלפרסם מחקרים בכתבי-עת מדעיים עם ביקורת עמיתים. המערכת פותחה באופן פנימי, והמחקרים היחידים הקיימים נערכו על-ידי עובדי יבמ או לקוחותיה, והוצגו בכנסים. אם החברות ימשיכו לפעול בדרך זו, יהיה קושי משמעותי ברגולציה של התחום.
 - **דגש על מתן טיפול הולם, במקום על שיפור הטיפול:** רופאים מתלוננים שווטסון, בניגוד לציפיות הגדולות שתלו בו, מספק רק המלצות מסורתיות בנוגע לטיפול הנכון ביותר, ולא מזהה טיפולים חדשים משל עצמו. במילים אחרות, נכון להיום הוא פועל כרופא אנושי המוגבל ביכולותיו.
 - **טעויות "מטופשות":** לווטסון אין אינטואיציה אנושית או "היגיון בריא". כתוצאה מכך, הוא עלול לפעמים לבצע טעויות "מטופשות" – כלומר, כאלו שאפילו מתמחה זוטרי (ולעתים גם אדם מן השורה) היה מבחין שאין הגיוניות.
 - **למידה מוגבלת ומוטה:** לאחר שווטסון התבסס ב-Memorial Sloan Kettering Cancer Center, הוא רכש תובנות רבות משם בנוגע לטיפול בחולים – והתוצאה היא שהמלצות הטיפול שלו דומות פעמים רבות לאלו שהיו מספקים הרופאים באותו מרכז. המשמעות היא שווטסון מוטה לפי מקורות הלימוד שלו.
 - **רגישות תרבותית לוקה בחסר:** רופאים במדינות אחרות מארה"ב מתלוננים כי ווטסון אינו מתחשב בנושאים תרבותיים או פיננסיים רגישים בהתאמת הטיפול שלו.
- אתגרים אלו ניתנים בהחלט לפתרון בשנים הקרובות, אך יש להיות מודעים אליהם בכל שימוש במערכות למידת מכונה ובינה מלאכותית בתחום הרפואה.

רפואה ואינטרקציות אדם-מחשב

לבינה המלאכותית ולמערכות האוטונומיות יהיו שימושים רבים הקשורים לאינטראקציה שיבצעו עם החולים והמטופלים. אינטראקציות אלו מחייבות הבנה של 'נפש' החולה, רגשותיו ותחושותיו, ובאופן כללי מתן התייחסות אישית ורגישה לכל אדם. השימושים הללו כוללים –

א. **הצפת מידע מהחולים:** צ'אטבוטים ותוכנות דומות משמשים כבר היום לאיסוף מידע ראשוני מחולים וממטופלים המגיעים לבית החולים, וכך מאפשרים לסגל הרפואי לעבוד באופן יעיל יותר ולהתרכז בתחומי הפעילות בהם קיים צורך ברור בסגל הרפואי האנושי.

- ב. **יידוע והכוונת החולים:** צ'אטבוטים כ- Your.MD ו-HealthTap מכוונים כבר היום חולים לרופאים המתאימים ביותר באמצעות שיחות טקסטואליות שמדמות שיחה עם אדם (Your.MD, 2018; HealthTap, 2017). אחיות דיגיטליות כבר הוכיחו את יכולותיהן לספק מידע רגיש ומתאים למטופלים, באופן שמספק אותם יותר ממתן המידע על-ידי אחות אנושית מוסמכת. האפליקציות המתקדמות ביותר, כ- Sensely, מסוגלות כבר להבין דיבור אנושי ולענות בדיבור בעצמן (Sensely, 2018).
- ג. **זיהוי והבנת רגשות ותחושות אנושיים עבור הסגל הרפואי:** באמצעות שימוש בטכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה ניתן לעמוד על תחושותיו של המטופל – למשל, באמצעות ניתוח הבעות פניו (Dianbo Liu, 2017) - ברמה גבוהה יותר מבני-אדם מאומנים (Marian Stewart Bartlett, 2014). רופאים, פסיכולוגים ואחיות הנעזרים בטכנולוגיות אלו יכולים להגיע להבנה מעמיקה יותר בנוגע למצבו הנפשי והפיזיולוגי של המטופל.
- ד. **ייעוץ רגיש לסגל הרפואי:** אפליקציות כגון Melody של ענקית האינטרנט הסינית Baidu, נועדו לתקשר עם רופאים באופן המדמה שיחה אנושית, ולסייע להם לאבחן את המחלה ממנה סובל המטופל, ולספק את הטיפול המתאים ביותר (Vincent, 2016). כפי שניתן להבין מתלונות הרופאים שהוצגו בסעיף הקודם על רפואה ולמידת מכונה, יש צורך בתקשורת עדינה ורגישה עם רופאים אנושיים על מנת לשכנע אותם בנכונות המסקנות הממוחשבות מחד, ובשמירה על חשיבה זהירה וספקנית מאידך שתאפשר להם לזהות טעויות במקרה שאלו מתרחשות.
- ה. **מתן טיפול פסיכולוגי:** צ'אטבוטים כ- Woebot מתחילים כבר היום לספק ייעוץ פסיכולוגי בסיסי (Woebot, 2017), ולפחות בבית-חולים אחד מתחילים הרופאים להשתמש בווטסון לתמיכה רגשית בילדים (Cookson, 2016).
- ו. **תמיכה רגשית במטופלים:** רובוטים חייתיים מספקים תמיכה רגשית לקשישים, לילדים ולאנשים עם מוגבלויות (PARO, 2014).

רפואה וטכנולוגיות לאיסוף מידע

- טכנולוגיות לאיסוף מידע בתחום הרפואה מאפשרות לספק לרשויות הבריאות מידע ארוכי – כלומר, כזה הנאסף לכל אורך שעות הערות של המטופל, וגם במהלך השינה אם יש בכך צורך. המידע נאסף במגוון רחב של דרכים, כדלקמן –
- א. **חיישנים נישאים:** מספרם של המכשירים הלבשיים עומד לעלות על 500 מיליון עד שנת 2021, ולספק מידע רב בעל משמעות רפואית חשובה (Gartner, 2017). מכשירים אלו עומדים לכלול שעונים חכמים, חגורות חכמות, חולצות, נעליים וטבעות חכמות וכן הלאה. כל המכשירים הללו ישתלבו בתנועת ה- Quantify Self – "כמת עצמך" – במסגרתה אנשים אוספים נתונים אודות מדדיהם הפיזיים על מנת להגיע לקבלת החלטות רפואיות מדויקות ונכונות יותר.
- ב. **חיישנים נייחים:** חיישנים נייחים בהקשר הנוכחי הם כאלו הנמצאים בבתים, ומאפשרים לאסוף מידע בעל משמעויות רפואיות. עד שנת 2022 אמורים להיות 4.5 מיליארד חיישנים לבית החכם בשימוש בכל העולם (ABI Research, 2017), עם שווי שוק של 54.45 מיליארד דולרים (Zion Market Research, 2017). חיישנים אלו יכולים לסייע בתקשורת עם מטופלים בבתיהם, במעקב אחר נפילות והתנהלות לא-שגרתית, בצמצום הצורך בנוכחות בני-משפחה שיפקחו על החולים בכל רגע, בסיוע בהתמודדות עם שיטיון ועוד.
- ג. **חיישנים המשתלבים בגוף:** חיישנים מסוימים מתחילים להשתלב בגוף עצמו. קעקועים אלקטרוניים, למשל, נצמדים לפני השטח של העור, ומאפשרים לחוש את המתרחש בגוף ולשדר את המידע לרשת האינטרנט (Risen, 2016). חיישנים בליעים, ככדורים של חברת פרטאוס, יכולים לדווח באופן אלחוטי על המתרחש בקיבה ובמעיים (Belluck, 2017), או אפילו להודיע לאנשים מסוימים על תרופות שניטלו בהצלחה (FDA, 2017).
- ד. **שימוש בסמארטפונים לאיסוף מידע:** איסוף מידע מטלפונים חכמים יכול לסייע באבחון מחלות מסוימות, כפרקינסון או אלצהיימר, או לזיהוי שינויים במצבם של חולים מסוימים, כגון חולי COPD (Blum, 2017).
- ה. **מידע מהאינטרנט ומהרשתות החברתיות:** מידע הנאסף מרשת האינטרנט יכול לסייע בחיזוי מגיפות מסוימות (David Lazer, 2014), או לזהות תופעות לוואי לא-ידועות של תרופות, במיוחד כאלו התוקפות

תת-אוכלוסיות מסוימות שלא זכו להתייחסות בניסויים הקליניים הכוללים יותר. באמצעות מעקב אחר דפוס החיפוש של אינדיבידואלים, ניתן גם לזהות שהם לוקים במחלות מסוימות, או מתחילים לפתח מצבים בריאותיים מזיקים (John Paparrizos, 2016).

רפואה ואבטחת סייבר

נושא אבטחת הסייבר במערכות הבריאות זינק מחדש לכותרות בשנה האחרונה כתוצאה מתקיפת תולעת WannaCry – נשק סייבר מתוצרת צפון קוריאה (BBC NEWS, 2017) – שהצליחה לשתק אלפי מחשבים ולהפיל חלקים ממערכת הבריאות באנגליה. עם זאת, עוד לפני כן הוגדרה מערכת הבריאות כסקטור המותקף ביותר (Morgan, 2016), וקיימות תחזיות לפיהן בין 2017 ל-2021 יושקעו יותר מ-65 מיליארד דולרים באבטחת סייבר במערכות רפואיות בכל העולם (Cybersecurity Ventures, 2017).

התחומים הספציפיים בהם תתרכז אבטחת הסייבר בתחום המערכות הרפואיות כוללים את –

- א. **הגנה על פרטי המטופלים:** קיים צורך דחוף ברענון המערכות הרפואיות המגנות על פרטי המטופלים, במיוחד במדינות בהן מערכת הבריאות מפוצלת למספר רב של חברות ביטוח רפואי ומרפאות שונות.
- ב. **הגנה על מכשור רפואי בבית החולים:** מכשור רפואי בבית החולים מבוסס לעתים קרובות על מערכות הפעלה ישנות שאינן יכולות לעבור שדרוג מחשש לשיבוש פעולתן. קיים צורך בהול במציאת פתרונות בתחום זה, שהיה אחראי במידה רבה לנזק הגדול שהסבה מתקפת WannaCry.
- ג. **הגנה על תקשורת רפואית:** תחום הטלה-רפואה עומד להתפתח במהירות בעשור הקרוב, ורופאים ייתנו ייעוץ ואפילו טיפול דרך הרשת. מכיוון שכך, חשוב לאבטח את התקשורת בין הרופא לחולה ולוודא שהמידע אינו יכול לזלוג החוצה או להיגנב.
- ד. **הגנה על מחשוב לביש ושתלים:** מכשירים רפואיים לבישים אוספים מידע אודות המשתמשים על מנת לספק להם ייעוץ רפואי, אך ניתנים לפריצה ולאיסוף המידע מצד ישויות זדוניות. שתלים – כמשאבות אינסולין (Goodin, 2011) וקוצבי לב (Garun, 2017) – ניתנים גם הם לפריצה, כפי שהוכח בשנים האחרונות. יש צורך לאבטח את ההתקנים הללו.

רפואה ומערכות מבוססות-בלוקצ'יין

מערכות מבוססות-בלוקצ'יין יכולות לשרת את הרפואה הציבורית והפרטית במספר דרכים שונות –

- א. **שיתוף מידע רפואי בין חולים באופן בטוח:** באמצעות יצירת 'פנקס גלובלי' אחיד ומאובטח, ניתן לאסוף למקום אחד את כל המידע המגיע מהתקני מחשוב לביש שונים, המופעלים ומיוצרים על-ידי חברות שונות. פנקס גלובלי רפואי זה אמור להיות בטוח בזכות הסתמכותו על כוח המחשוב המגיע מהמשתמשים עצמם. יבמ עצמה סקרה לאחרונה 200 מנהלים בתחום שירותי הבריאות, המגיעים מחברות הביטוח הרפואיות ומספקי השירות הרפואי, וגילתה ש-16% מהם מצפים ליהנות משירות מבוסס-בלוקצ'יין לשיתוף מידע רפואי בקנה מידה רחב, עד 2017. תחזית זו לא התגשמה למיטב ידיעת הכותבים, אך ברור כי מנהלים בתחום הבריאות צופים שלמערכת כזו יהיו יישומים חשובים כבר בשנים הקרובות (IBM, 2017).
- ב. **שיתוף מידע רפואי בין חברות ביטוח:** בדומה לדרך בה בנקים מתחילים להתארגן ולתכנן מערכות בלוקצ'יין פנימיות עבור קבוצות בנקים שלמות, כך גם חברות ביטוח שונות יוכלו לפתח מערכות בלוקצ'יין שיאפשרו להן לשתף פעולה ביחד במהירות, ביעילות וברמת אבטחה גבוהה.
- ג. **יצירת מערכות ביטוח רפואי אוטומטיות:** באמצעות שימוש בחוזים חכמים ובעקרונות הארגונים המבוזרים האוטונומיים (DAOs), ניתן לחשוב על מערכות ביטוח רפואי אוטומטיות על גבי רשת הבלוקצ'יין. מערכות אלו יספקו פיצויים לחולים ולנפגעים, מבלי שיהיו חשופות לסכנות הריכוזיות שארגונים ריכוזיים סובלים מהן.

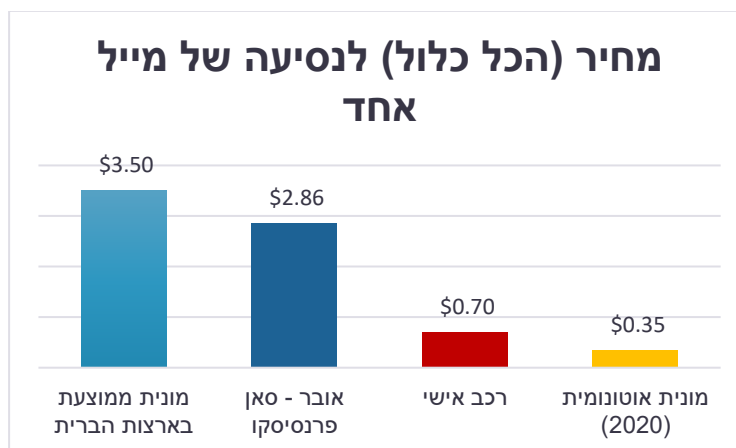
6.2. תחבורה ושינוע

בחלק זה נתמקד בשימוש בטכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי המידע ורובוטיקה מתקדמת לצרכי תחבורה ושינוע. על אף העובדה שעיקר תשומת הלב בתחום התחבורה מתרכזת ברכבים האוטונומיים, חשוב להבין שהם רק חלק מהתמונה הכוללת והגדולה יותר של שילוב אוטומציה במערכות התנועה והשינוע.

תחבורה ומערכות אוטונומיות

א. רכבים אוטונומיים ציבוריים: קיימת התרגשות רבה מסביב לכוונה לפתוח שירותי תחבורה ציבורית באמצעות רכבים אוטונומיים בערים. שירותים מסוג זה מתוכננים להיפתח בערים שונות מסביב לעולם, ולפחות 58 ערים בוחנות כבר היום כיצד לשלב רכבים אוטונומיים בכבישים, ו-29 ערים נוספות (כולל תל אביב) שמתחילות להיערך למהפכה זו (The Aspen Institute, 2017). קצרה היריעה בחלק זה של הדו"ח מלפרט אודות התכניות בכל עיר ועיר, או אודות תכניותיהן של החברות השונות. נסכם כי הרכבים האוטונומיים עתידים להגיע לכבישים עד 2020 – כפי שניתן ללמוד מתכניתיה המוצהרות של חברת GM להשיק ציי מוניות אוטונומיות במספר ערים עד 2019, בעלות לנוסע של 60 סנט לקילומטר (Campbell, 2017). לפי הערכות אחרות, עלות הנסיעה לקילומטר תגיע רק ל-22 סנט לקילומטר – פחות מעשירית מעלות מונית ממוצעת באמריקה כיום, או אפילו ממונית של אובר, ובערך מחצית מעלות ההפעלה של רכב פרטי (Keeney, 2017). עם זאת, מקינזי מעריכים ש- "הכיף יתחיל" רק בסביבות 2025, כשהרכבים האוטונומיים יוכלו לנוע בפקקי תנועה בתוך הערים ובכבישים המהירים, לאסוף אנשים מבתיים ולהתנייד ביום ובלילה, בגשם ובשלג (Ambadipudi, Heineke, Kampshoff, & Shao, 2017). ההשלכות המלאות אינן ברורות, אך מובן כי המודלים הנוכחיים של מכירת והפעלת רכבים לא יהיו תקפים עוד למצב החדש. אנליסטים רבים חוזים כי נחווה תנועה דרמטית לכיוון השימוש ברכבים אוטונומיים ציבוריים על פני נסיעה שימוש ברכבים פרטיים. עד 2030, צפוי שוק הרכבים האוטונומיים לשימוש ציבורי (Mobility-As-A-Service) לעבור את רף העשרה טריליון דולרים במכירות (ARK, 2017).

איור 28: עלות הנסיעה ברכב האוטונומי לפי מייל, בהשוואה לרכבים מסוגים שוני



מקור: עיבוד של מוסד נאמן לנתונים של חברת ARK (ARK, 2017)

ב. רכבים אוטונומיים לשינוע משאות: חברות שונות מתחילות להתנסות כיום עם משאיות אוטונומיות לשינוע משאות. חברת Embark החלה כבר בסוף 2017 לשנע מקררים במשאיות, מטקסס לקליפורניה (Davies, Self-Driving Trucks Are Now Delivering Refrigerators, 2017). אובר כבר שינעה ארגזי בירה בקולורדו במשאית אוטונומית: Uber'S Self-Driving Truck Makes Its First Delivery (Davies, 50,000 Beers, 2016), וחברות כוולו, דיימלר, טסלה ווויימו מפתחות משאיות דומות. חברת DHL מפתחת משאיות לשינוע חבילות שייסעו בעצמן, או שינועו ברחובות אחרי השליח כדי שלא יצטרך לחזור למקום המקורי בו חנה. גם במקרה זה הציפייה היא לחדירה ראשונית של טכנולוגיות שינוע משאות אוטונומיות עד 2020 (McFarland, 2017).

ג. רחפנים לשינוע משאות: רחפנים מתחילים כיום לשמש לשינוע חבילות קטנות וקלות, כציוד רפואי בעיקר. עם זאת, חברות רבות כאמאזון, דומינוס פיצה, טרגט, וולמארט ואחרות, בוחנות את אפשרות השימוש ברחפנים לשינוע סחורות ללקוחות. הרחפנים צפויים להשפיע בעיקר על שינוע החבילות ב- "מייל האחרון", לבתי הלקוחות ולעסקים קטנים. הציפייה היא שעלויות המשלוח ירדו עד לעלות של דולר אחד בלבד למשלוח באמצעות רחפנים, והחיסכון הכלכלי לחברות שינוע יהיה בין שני מיליארד לעשרה מיליארד דולרים (Darryl Jenkins, 2017).

ד. **רכבים מעופפים:** מספר חברות מכובדות בשוק התחבורה, כאובר ואיירבאס, פועלות לפיתוח 'רכבים מעופפים' – כלומר, כלי-טיס המסוגלים להמריא ולנחות אנכית (VTOL – Vertical Take-Off and Landing) בתוך ערים. רכבים אלו מתוכננים להיות אוטונומיים, על מנת לחסוך בעלות הטיס האנושי המיומן. מתוכננים ניסויים ברכבים מעופפים מסוג זה בשנים הקרובות במספר ערים בעולם, כדובאי ודאלאס (Galeon, 2018).

תחבורה ולמידת מכונה

למידת מכונה מהווה את הבסיס לרכבים האוטונומיים, אך יש לה גם שימושים חשובים אחרים בתחום התחבורה, כדלקמן –

א. **זיהוי אירועים בזמן-אמת:** מנועי בינה מלאכותית מסוגלים לעבור על צילומי וידאו ממצלמות אבטחה ומטלפונים חכמים, ולזהות פקקי תנועה, תאונות דרכים ואירועים לא-שגרתיים אחרים בכבישים (Gerage, 2016).

ב. **פיתוח מודלים מיטביים לשינוע:** מנועי למידת מכונה יכולים לעבור על כמות נתונים גדולה בנוגע לנתיבי הנסיעה של משאיות ורכבי שינוע אחרים, ולפתח מודלים מיטביים לשינוע ולחלוקת המשאיות והחבילות. הבינה המלאכותית מסוגלת לעשות זאת מדי יום מחדש על מנת להתאים עצמה לדרישות ולנפחי שינוע משתנים. הבינה המלאכותית מסוגלת גם להציג את המידע לנהגי המשלוחים בזמן-אמת באופן שיהיה מובן וברור עבורם. יישום של מערכת בינה מלאכותית מסוג זה הוביל לחיסכון של 4% במספר הקילומטרים שביצעו נהגי המשלוחים – דבר המתורגם ליעילות מוגברת ולחיסכון בדלק ובעלויות תחזוקה (Zimberoff, 2018).

ג. **פיתוח מודלים לאחסון סחורה נכון:** שימוש בלמידת מכונה יכול לסייע בחיזוי רכישות ובשינוע המוצרים הרצויים למחסנים באזור הרכישה. אמאזון הוציאה פטנט על Anticipatory Shipping ב-2013, כדרך לסייע לה להביא סחורות למקום הנכון ובזמן הנכון (Amazon, 2013).

ד. **פיתוח מודלים מיטביים לביטוח רכבים:** באמצעות מעבר על כמויות מידע גדולות, מנועי למידת מכונה יכולו לפתח מודלים מיטביים לביטוח רכבים ונהגים, שיוכלו לעבור שינויים מהירים לפי הצורך. חברות ביטוח מסוימות מפתחות אפליקציות שיסייעו לנהגים להעריך את הנזק לרכביהם בעקבות תאונה בזמן-אמת, באמצעות צילום המכונית על-ידי הסמארטפון, ושימוש במנוע בינה מלאכותית שאומן על אלפי תמונות מתאונות קודמות, ומסוגל לאמוד את גודל הנזק לרכב (Sennaar, 2017).

תחבורה ואינטראקציית אדם-מחשב

השימוש העיקרי בתחום האינטראקציית אדם-מחשב בוורטיקל התחבורה, הוא בהתאמת הרכבים האוטונומיים לסביבה האנושית. מצד אחד, הרכבים האוטונומיים צריכים להיות מודעים לסביבתם החיצונית ולהבין את הפעילות האנושית המתקיימת סביבם, עד כדי כך שכאשר כדור מתגלגל לכביש – הם צריכים להיות מסוגלים לנחש שילד עלול לרדוף אחריו. מצד שני, הרכבים האוטונומיים צריכים להיות מתוכננים כך שיוכלו גם להעביר שליטה במצבי חירום לנהג האנושי. כל אחד מהצרכים האלו מחייב התייחסות לבני-אדם, והענקת בינה רגשית מסוימת לרכב.

תחבורה וטכנולוגיות לאיסוף מידע

טכנולוגיות לאיסוף מידע עתידות להשתלב בוורטיקל התחבורה במספר דרכים –

א. **חיישנים לכלי-תחבורה אוטונומיים:** רכבים אוטונומיים חייבים להיות מצוידים בחיישנים משוכללים מסוגים שונים. אלו כוללים לרוב מצלמות ולידאר (Lidar).

ב. **הרכב כחיישן (הרכבים המחוברים):** מספר הרכבים המחוברים לרשת עומד לעלות באופן דרמטי בשנים הקרובות. לפי גרטנר, מספר הרכבים המחוברים עומד להגיע ל-250 מיליון עד 2020 (Gartner, 2015).

ג. **תשתיות תחבורה מחוברות:** התשתיות בערים עומדות להפוך למחוברות ולשדר מידע לרשת על מצבן. גשרים יוכלו לדווח על תקלות ועל פגיעה בחוסנם המבני; כבישים יוכלו לדווח על מספר הרכבים הנוסעים עליהם ועל תאונות; מדחני חניה פנויים יוכלו להודיע שהם זמינים כרגע לחניה, וכן הלאה.

תחבורה ואבטחת סייבר

לא ניתן לדבר על רכבים אוטונומיים או על מערכות התחבורה העתידיות מבלי להזכיר גם את תחום אבטחת הסייבר. בתחום זה ראוי להתייחס למספר תת-תחומים –

א. **אבטחת תשתיות תחבורה קריטיות:** קיימות הערכות לפיהן טרוריסטים יבקשו להתמקד בתשתיות התחבורה – למשל, מערכת הרמזורים העירונית – בניסיון לתקוף אזורים מיושבים ולהפריע לפעולתם (Tzezana, High-probability and wild-card scenarios for future crimes and terror attacks using the Internet of Things, 2017; Tzezana, Scenarios for crime and terrorist attacks using the internet of things, 2016).

ב. **אבטחת כלי תחבורה אוטונומיים ברמת הכלי:** יש צורך לאבטח את כלי התחבורה האוטונומיים – בין שמדובר ברחפנים או ברכבים על הכבישים – ברמת הכלי עצמו, כך שיהיה מסוגל להתמודד עם תקיפת סייבר המגיעה מן החוץ.

ג. **אבטחת התקשורת עם כלי תחבורה אוטונומיים:** מאחר וכלי תחבורה אוטונומיים מקבלים עדכונים והנחיות מהאינטרנט או ממקורות אלחוטיים ייעודיים, יש צורך לאבטח את התקשורת עם הכלים הללו על מנת לצמצם את הסיכוי להעברת מסרים זדוניים.

תחבורה וטכנולוגיות בלוקצ'יין

טכנולוגיות בלוקצ'יין יכולות להיות בעלות משמעות גדולה לעתיד התחבורה במספר דרכים –

א. **מעקב אחר שינוע סחורות:** באמצעות טכנולוגיות בלוקצ'יין ניתן ליצור פנקס גלובלי עבור שינוע סחורות, המתעד את מעברו של כל פריט מהמחסן, למשאית, לספינה, למטוס ואפילו למלגזה. פנקס גלובלי שכזה יכול להיות בעל חשיבות עצומה לשיפור שרשראות האספקה, ומתחיל להיבחן כבר היום. וולמארט פתחה פרויקט ראשוני בנושא ביחד עם יבמ (Nathaniel Popper, 2017), וקונסורציום חדש – Blockchain in Transport Alliance – קם כדי לסייע בשילוב מערכות בלוקצ'יין בשרשראות אספקה (BiTA, 2018). הקונסורציום כולל כמה מענקיות השינוע בעולם, כולל UPS, Salesforce, DAT ואחרות, ומדווח כי עוד אלף חברות בערך ביקשו להצטרף (Salama, 2018).

ב. **מיקרו-טרנסאקציות בין כלי תחבורה אוטונומיים:** בעולם בו רכבים אוטונומיים מתפקדים כמוניות אוטונומיות, ניתן להניח כי על מנת להגביר את היעילות, יהיו נוסעים שיעברו מרכב לרכב בנקודות עצירה מסוימות. אם הרכבים יופעלו על-ידי חברות שונות, הרי שיהיה צורך במערכת מהירה של מיקרו-טרנסאקציות בין כל החברות. באופן דומה, אם רחפנים יתפקדו בערים בשילוב עם רכבים אוטונומיים – כך שיוכלו, למשל, 'לתפוס טרמפ' על גגו של רכב אוטונומי בדרך ליעד – יהיה צורך במערכת דומה של מיקרו-טרנסאקציות. מערכת הבלוקצ'יין יכולה ליצור את הפנקס הגלובלי שיתעד את כל הטרנסאקציות הללו ויאפשר לשלם עבורן במהירות וביעילות.

ג. **הפעלת ציי רכבים:** בחזון מרוחק יותר, ניתן לחשוב על חוזי רכישה משותפים לאזרחים, באמצעותם יהיו מסוגלים אלפי אנשים לרכוש ביחד רכבים אוטונומיים ולתחזקם.

6.3. אוטומציה תעשייתית

תחומי הבינה המלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה צפוי להשפיע באופן מהותי על תהליכי אוטומציה תעשייתית בעתיד. זאת כחלק מהגברת התחרות הגלובלית והצורך בתהליכי התייעלות וחסכון על מנת לקצר את משך הזמן הנדרש לתהליכי פיתוח וייצור. להלן יסקרו היבטים שונים של השפעות אפשריות של תחום זה על האוטומציה התעשייתית.

אוטומציה תעשייתית ומערכות אוטונומיות

תחום האוטומציה התעשייתית על היבטיו השונים, צפוי להיות אחד התחומים שיושפעו באופן ישיר מכניסת רובוטים ומערכות אוטונומיות לתעשייה. רובוטים חכמים צפויים להיות חלק אינטגרלי מה "מפעל החכם" (Smart Factory) העתידי, לצד טכנולוגיות מחשוב, אינטרנט, חיישנים וסייבר (Caggiano & Teti, 2018; Tilley, 2017). Jonathan, 2017) שיכולות לתקשר איתם (Ahuet-Garza & Kurfess, 2018). שימוש הרובוטים והמערכות

האוטונומיות צפוי להשתלב בתחומים שונים בתהליכי אוטומציה תעשייתית וחברות גדולות בעולם משתפות פעולה בפיתוח מוצרים המשלבים Big Data, כלים אנליטיים ורובוטיקה למטרות יצור ופיקוח על האיכות ("Rockwell, Fanuc and Cisco use AI to optimise production - Drives and Controls Magazine," 2016)

רובוטים בתהליכי ייצור – מערכות רובוטיות אוטונומיות בשימוש מחלקות הייצור בתעשייה, היכולות לתקשר עם רכיבים אחרים ולהסתמך על Big Data ועל אינטליגנציה מלאכותית לטובת קבלת החלטות, צפויות להיות חלק מ"המפעל החכם" העתידי (Wan et al., 2017; S. Wang, Zhang, Liu, Li, & Tang, 2017). אלו יוכלו, לדוגמה, לקבל החלטות על בסיס תקשורת עם מערכות אחרות במפעל ולגלות גמישות תפעולית על בסיס אינטראקציות אינטליגנטיות אלו (S. Wang et al., 2017). הרובוטים העתידיים, בשונה מאלו הקיימים כיום, עשויים גם לבצע מגוון משימות שונות באופן בטיחותי ותוך שיתוף פעולה עם הסביבה, ללא צורך בבידוד סביבתי העבודה, כמו גם לקיים תקשורת עם שאר העובדים במפעל (Bahrin, Othman, Azli, & Talib, 2016). יתרון נוסף של השימוש ברובוטים חכמים בסביבת הייצור נובע מיכולתם לעבוד סביב השעון ולדווח באופן אוטונומי על תקלות למפעיל ובכך להגדיל את כושר הייצור (Bahrin et al., 2016; Berger Strategy Consultants, 2014). Blanchet, Rinn, de Thieulloy, & von Thaden, 2014). מערכות הנמצאות כיום בשימוש כמו גם בפיתוח, יכולות לבצע משימות יחד עם בני אדם, ללמוד את פעולותיהם ולאחר מכן לבצע משימה זרה תוך תיעוד העבודה באופן ממוחשב, לדוגמה לענן (Bahrin et al., 2016). המערכות כוללות רובוטים למטרות ייצור, פריקה ואריזה והם בעלי יכולת אינטראקטיבית עם הסביבה ("Baxter Collaborative Robots for Industrial Automation Rethink Robotics," n.d.), וכן מערכות רובוטיות המבצעות משימות ביחד עם בני אדם תוך שילוב אינטליגנציה מלאכותית בתהליך ("F&P – Personal Robotics," n.d.). מכוני מחקר ומרכזי פיתוח רבים קיימים כיום במגזר הממשלתי כמו גם העסקי, ומטרתם לתמוך בתהליכי מו"פ הנוגעים לאוטומציה התעשייתית ובכלל זה תחום הרובוטיקה המשולב בה (Bahrin et al., 2016).

רובוטים בתהליכי אבטחת איכות -

מערכות רובוטיות נוספות מפותחות כיום למטרות אוטומציה של אבטחת איכות בתהליכי ייצור. אחת הדוגמאות הינה מערכת רובוטית שמסוגלת לבצע בדיקות באמצעות ראייה תלת-ממדית על מנת לבחון את שלמות המוצר ואת תכונותיו החיצוניות ("Quality control - IT+Robotics," n.d.) וכן מערכות שישתלבו ב"מפעל החכם" באמצעות ביצוע בדיקות ובקרה על איכות המוצרים ותכונות שונות, על ידי מדידות הנעשות באמצעים רובוטיים מדויקים ("Customer Magazine FISCHERSCOPE | Fischer Technology Inc.," n.d.). היתרונות הגלומים בשילוב מערכות מתקדמות שונות, ובהן מערכות אוטונומיות ורובוטיות בתהליכי הייצור ואבטחת האיכות, נוגע ליצירת סביבת עבודה עם טעויות מינימליות, הוזלת עלויות הייצור וחסכון בזמן, תוך זיהוי פגמים בתהליך ומניעת המשך ייצור פגום ("Factories 4.0 and Beyond," 2016).

אוטומציה תעשייתית ולמידת מכונה

ללמידת המכונה, תוך שימוש ב Big Data הנאסף בתהליך התעשייתי עצמו, אפשרויות משמעותיות להשתלב בתחום האוטומציה התעשייתית המתקדמת במגוון יישומים ובהם, לדוגמה, תחום הטקסטיל (Yildirim, Birant, Alpyildiz, 2018), הרכב (Yi Lu Murphey, Masrur, ZhiHang Chen, & Baifang Zhang, 2006) והחלל (Ambur, Schwartz, & Mavris, 2016). בלמידת המכונה מתקיים שימוש ביכולת הממוחשבת לזיהוי, בין היתר, של תבניות (Patterns) וליצירת תובנות המבוססות על מידע גולמי, לצורך ניתוח וטיוב תהליכים (Ahuett-Garza & Kurfess, 2018). יישומים של למידת מכונה, כדוגמת למידה עמוקה, מסייעים בקבלת החלטות הנוגעות למשל, לניטור תקלות ותחזיות הנוגעות לבלאי של מכונות או פגמים בייצור (J. Wang, Ma, Zhang, Gao, & Wu, 2018), למצב המוצר, זיהוי תקלות שונות בתהליך, תחזיות בנוגע לאיכות והצעות לשיפור התוצרת (J. Wang et al., 2018). אלו מסתמכים על למידה המתרחשת ממידע ממגוון מקורות כגון, בין היתר, חיישנים שונים במפעל, תנאים סביבתיים, תמחור, מכירות ומצאי על מנת לספק תובנות אלו (Lade, Ghosh, & Srinivasan, 2017; J. Wang et al., 2018). גם בהיבט החזותי משמשת למידת המכונה ועיבוד התמונה הממוחשב כלי עזר חשוב באיתור פגמים בתוצר (J. Wang et al., 2018). שימושים אפשריים נוספים של למידת המכונה נוגעים להיבטים נוספים של הייצור כגון אופטימיזציה של שרשרת האספקה (Cabe, Supply Chain), 2017). חברות רבות מתמקדות בפיתוח כלים ללמידת מכונה והשקעות פיננסיות הנעשות בחברות העוסקות

בתחומי הבינה המלאכותית, מתרכזות בעיקר בתחום זה של למידת המכונה (Bughin et al., 2017). ראוי לציין כי חברות גדולות בעולם החלו כבר בהטמעת כלים המבוססים על למידת מכונה במפעליהם, ובכלל זאת חברות כגון GE, Siemens (Cabe, 2017).

אוטומציה תעשייתית ואינטראקציית אדם מכונה

עם כניסת המערכות החכמות לתהליכי האוטומציה התעשייתית, קיימת חשיבות רבה ביצירת אינטרקציות נוחות ויעילות של אדם – מכונה. צפוי, כי בשל שכלול המכונות והתקשורת ביניהן, ומתן אוטונומיה רבה יותר בתהליכי האוטומציה, הגורם האנושי יהיה מעורב בפעילויות תכנון ואסטרטגיית הקשורות לייצור, כמו גם פיקוח, ופתרון בעיות מורכבות, ופחות בעמדות הייצור הקלאסיות (Gorecky, Schmitt, Loskyll, & Zuhlke, 2014).

דרכים שונות הוצעו להצגה פשוטה של תהליך הייצור האוטומטי לטובת פיקוח ובקרה, ובהם שימוש באמצעים של מציאות מדומה (Virtual Reality), מציאות רבודה (Augmented Reality), מתן פקודות באמצעות הטלפונים החכמים ואפליקציות שונות למגוון מכשירים ניידים כגון טלפונים חכמים, מכשירי טאבלט, וכן טכנולוגיה למתן פקודות קוליות ובאמצעות תנועות גוף (Gorecky et al., 2014). כמו כן, מערכות שונות יוכלו לסייע לעובד בקבלת החלטות כמו גם להדריך אותו ביחס לתיקונים נדרשים ודרכים לעשותם על בסיס ניטור אוטומטי של תהליכי הייצור (Gorecky et al., 2014). פתרונות שונים ליכולת ההתמודדות האנושית עם כמויות גדולות של מידע האצור במערכות הממוחשבות במחשבים הועלו בשנים האחרונות, ובכלל זה הצגת המידע הרלוונטי למשימה הנוכחית באופן נוח ויעיל למשתמש (Constantinescu, Francalanza, Matarazzo, & Balkan, 2014).

חשיבות נוספת נודעת לאינטראקציות אדם מכונה עם מערכות אוטונומיות כדוגמת רובוטים. מערכות שונות של רובוטים מתוכננות כבר כיום באופן המאפשר להם ליצור קשר ולעבוד יחד עם בני אנוש (Beaupre, n.d.; Šekoranja, Bašić, Švaco, Šuligoj, & Jerbić, 2014) וכן נעשים מאמצים לפתח מערכות רובוטיות שיוכלו לזהות קול ולקבל פקודות ממפעליהם בהתאם (Maksymova, Matarneh, Lyashenko, & Belova, 2017; Tasevski, Nikolić, & Mišković, 2013).

שימוש חשוב נוסף באינטראקציות אדם – מכונה באוטומציה תעשייתית יכול להתקיים באמצעות Chatbot (Fevzi Ozcekic, 2017) המהווה בין רכיבים שונים כגון Big Data, חיישנים ורובוטים. ל – Chatbots מספר יתרונות כגון קלות ונוחות התפעול, מבנה של שאלה ותשובה, וכן יכולת למידה, אשר הופכים אותו לפתרון נוח לביצוע אינטראקציות אלה (Fevzi Ozcekic, 2017).

אוטומציה תעשייתית וטכנולוגיות לאיסוף מידע

לרכיבי ה Big Data צפויה תרומה משמעותית לאוטומציה התעשייתית. זאת עשויה לבוא לידי ביטוי בכל היבטי האוטומציה התעשייתית, כולל ביצוע אנליזות הנוגעות לכשלים בתהליך הייצור, אופטימיזציה בתהליך, ניצול נכון של המשאבים ותחזיות הנוגעות לתחזוקה. השימוש במידע הרב מאפשר יצירת תובנות, תמיכה בקבלת החלטות ויצירת יתרון תחרותי ("Industry 4.0 Challenges and Solutions for the Digital Transformation and Use of Exponential Technologies," n.d.). מידע רב נאסף בחיישנים שונים וכן באמצעות טכנולוגיות של IoT ואלו צפויים לשנות את יחסי העבודה בין לקוחות, יצרנים וספקים (Ahuett-Garza & Kurfess, 2018). המידע הרב שנאסף צפוי לשמש כבסיס ליישומים שונים של למידת המכונה (Ahuett-Garza & Kurfess, 2018). ה IoT עשוי גם לתרום בהבנת צרכי הלקוח ויצירת אינטראקציה בין הצרכן ל"מפעל החכם" לצורך ייצור של מוצרים "חכמים" המתאימים לצרכי הלקוח, כמו גם היבטים נוספים שבהם כגון חסכון במשאבים (Shrouf, Ordieres, & Miragliotta, 2014).

אוטומציה תעשייתית ואבטחת סייבר

בד בבד עם כניסת הטכנולוגיות החכמות השונות לאוטומציה התעשייתית, ההשלכות של פגיעות סייבר בהן הופכות להיות משמעותיות יותר. לפיכך, קיימת חשיבות רבה בהפיכת הגנת מערכות, היכולת לצפות תקיפות ולטפל באופן מהיר בתקלות, לחלק אינטגרלי מהטכנולוגיה החל מתחילת הטמעתה במפעל ("Industry 4.0 and cybersecurity Managing risk in an age of connected production," 2017). אבטחת הסייבר צריכה

להיות משולבת בכל היבטי העבודה במפעל ובכלל זה שמירה על פרטיות המידע במהלך אחסונו במפעל ובהעברתו בין ספקים, אבטחת יעילות תהליך הייצור מפני שיבושים, אבטחת העובדים מפני תקלות כתוצאה מפגיעות סייבר, ושמירה על יתירות המערכות ויכולות אחזור של מידע ("Industry 4.0 and cybersecurity Managing risk in an age of connected production," 2017).

תקיפות סייבר עשויות להיות מכוונות כלפי רכיבים שונים במערכת התעשייתית ובכלל זאת על מערכות האוטומציה, מערכות הבקרה והייצור, שינוי הגדרות בתהליכים השונים והתערבות בתהליכי תקשורת של מכונה-מכונה. הגורם האנושי אף הוא עשוי להיות זרז לפגיעות סייבר כדוגמת שימוש בחומרה שאינה מורשית. (Jansen & Jeschke, 2018). מגוון סוגים של מידע תעשייתי עשוי להיות חשוף לתקיפות סייבר ובכלל זה Big Data הנוגע לקבלת החלטות בזמן אמת ומידע על בסיס מבצעים אנליזות, כמו גם מידע הנוגע לקניין רוחני. מידע המועבר באמצעים של IoT דורש אף הוא הגנה מתאימה מפני תקיפות סייבר אפשריות ("Industry 4.0 and cybersecurity Managing risk in an age of connected production," 2017). מערכות הגנה עתידיות מפני תקיפות סייבר יכולות לעשות שימוש בשילוב רכיבי בינה מלאכותית שינטרו את הפעילות ברשתות ויתריעו על פעילות חריגה (Jansen & Jeschke, 2018).

אוטומציה תעשייתית ומערכות מבוססות בלוקצ'יין

מערכות המבוססות על טכנולוגיית הבלוקצ'יין צפויות להיות משולבות בתחום הלוגיסטיקה במסגרת האוטומציה התעשייתית. טכנולוגיה זאת יכולה לסייע בניהול שרשרת האספקה באמצעות מעקב אחר הרכיבים השונים המשתתפים בשרשרת זאת, (Hofmann & Rüsch, 2017), עריכת בקרה אחר המצאי ושימושו ומזעור סיכונים הנובעים מקניית חלפים שאינם מאושרים. כן מאפשר המידע הנשמר בטכנולוגיה זאת ביצוע אנליזות שונות בנוגע למצאי, ביקוש וזמינות (Madhwal & Panfilov, 2017). שימושים נוספים שעשויים להיות לבלוקצ'יין יכולים לבוא לידי ביטוי באופטימיזציה של אינטראקציות מכונה-מכונה (Sikorski, Haughton, & Kraft, 2017) והזמנה אוטומטית של חלקי חילוף כחלק מ"המפעל החכם" (Mezni, 2018). יתרון נוסף הטמון בטכנולוגיית הבלוקצ'יין הינו בעובדה שהיא מאפשרת ביצוע אינטראקציות פיננסיות שונות בצורה בטוחה יותר תוך מתן אפשרות לעקוב בשקיפות מלאה אחר ההעברות השונות (Joshi, 2017).

6.4. ביטחון

טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה צפויות להשפיע באופן דרמטי על סוגיות ביטחון-חוץ וביטחון-פנים. לפי דו"ח מ-2017 של מרכז בלפר, בינה מלאכותית לבדה צפויה להשפיע בסוגיות ביטחוניות **לפחות** באותה המידה כפי שהשפיעו נשקים גרעיניים, כלי טיס ומחשבים. כל אחד מהכלים הללו שינה לחלוטין את התפישות הקיימות אודות מאבקים בין מדינות, וטכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה עשויות להיות בעלות השפעה גדולה אף יותר, לפי מחברי הדו"ח (Greg Allen, 2017).

בסעיפים הבאים נעמוד על כמה מהדרכים בהן עומדים תת-התחומים של טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה להשפיע על עתיד הביטחון.

ביטחון ומערכות אוטונומיות

קצרה היריעה מלהרחיב אודות מגוון השימושים של מערכות אוטונומיות בביטחון. מדי יום מתווספים שימושים נוספים בוורטיקל זה, ורב הנסתר על הגלוי בכל הנוגע לפיתוחים הנמצאים תחת מחסה הסודיות הביטחונית. עם זאת, למומחים רבים ברור כי מערכות אוטונומיות עומדות להגיע לשדה הקרב בשנים הקרובות. כפי שאמר ראש מטה צבא ארה"ב, הגנרל מארק מילי –

"אנו בתקופה היסטורית בזמן, בה מתכנס מגוון רחב של טכנולוגיות. אנו בחזית הטכנולוגיה. ... אני מתחייב שהן משתנות וישנו את טבעה הבסיסי של המלחמה. יש לכם הרבה שינויים בהנדסת מכונות, ברובוטיקה. כך שמערכות אוטונומיות, או סמי-אוטונומיות, כבר כאן. הן הגיעו. הן לא התפשטו לשימוש רחב, עדיין. בקרוב מאד, הן יעשו זאת. תוך שנים ספורות, תראו שימוש נרחב ברובוטים." (Tucker, 2017)

בדו"ח של ועד מדע ההגנה (Defense Science Board), נעשתה הפרדה ברורה בין שני סוגים של מערכות אוטונומיות: מצד אחד, רובוטים אוטונומיים, ומצד שני – "מערכות אוטונומיות נייחות". הסוג הראשון מוכר היטב,

אך השני מתייחס למערכות סייבר אוטונומיות שפועלות בעולם הווירטואלי (Defense Science Board, 2016).

א. רובוטים אוטונומיים: רובוטים אוטונומיים ואוטונומיים-למחצה נכנסים כיום לשימוש בכל צבא המסוגל להרשות לעצמו את השימוש בהם. רחפנים אוטונומיים או נשלטים-מרחוק משמשים למטרות איסוף מידע, תצפיות, מעקב ואפילו חיסול ממוקד. נשיא ארה"ב לשעבר, ברק אובמה, אישר יותר מ-500 תקיפות רחפנים הנשלטים מרחוק (Zenko, 2016). רובוטים קרקעיים משמשים גם הם למגוון רחב של מטרות כנטרול פצצות, איסוף מידע מתוך בניינים וחדרים (Endeavor Robotics, 2018), נשיאת משאות (Boston Dynamics, 2018), פטרול (Rogers, 2016) ועוד. נעשה שימוש מקיף גם ברובוטים ימיים, כצוללות לא-מאוישות לגילוי מוקשים תת-ימיים (Woods Hole Oceanographic Institution, n.d.), ומתוכננים פיתוחים עתידיים כציי צוללות לא-מאוישות (Trevithick, 2017), ספינות לא-מאוישות (Mizokami, 2018), או אפילו כלי שיט בעלי אוטונומיות מלאה (Petrova, This self-driving ship could be the future of military warfare, 2018). מספר הרובוטים הצבאיים גדל בהתמדה, ובזמן הנוכחות האמריקנית בעיראק ב-2008 הגיע ל-12,000 (Melendez, 2017). הציפיות כיום הן שעד 2025, יכלול צבא ארצות הברית מספר גדול יותר של רובוטים מחיילים אנושיים (Lockett, 2017).

רובוטים נמצאים בשימוש גם בכוחות שיטור מסביב לעולם. ידועה במיוחד דובאי, בה מתחילים להיכנס רובוטים למטרות פטרול בקניונים ובאתרי תיירות. ממשלת איחוד האמירויות הערביות כבר הודיעה כי בכוונתה להחליף 25% מהשוטרים ברובוטים עד 2030 (BBC News, 2017).

ב. מערכות סייבר אוטונומיות: מערכות סייבר אוטונומיות מסוגלות לבצע תקיפות – או להגן מפני תקיפות – בכוחות עצמן ומבלי שילוב גורם אנושי בתהליך. נשקי סייבר מסוימים מפגינים כבר אוטונומיות מסוימת ויכולת קבלת החלטות מוגבלת, כתולעת Stuxnet ונגיף-הסייבר WannaCry (Kushner, 2013). דרפ"א פתחה ב-2016 את ה-Cyber Grand Challenge במסגרתו הוזמנו קבוצות לפתח אלגוריתמים אוטונומיים שיוכלו "לפרוץ ולשנות תוכנה לא-ידועה, מבלי שיהיה מישהו מאחורי המקלדת", או לטפל בנקודות תורפה בקוד חדש מבלי סיוע אנושי (DEF CON, 2016).

ביטחון ולמידת מכונה

א. מודלים לחיזוי פשיעה: למידת מכונה יכולה לשמש לפיתוח והרצת מודלים לחיזוי פשיעה (predictive policing) ואירועי טרור (Hvistendahl, 2016). למידה עמוקה יכולה לשמש לפיתוח בזמן-אמת של מודלים לחיזוי פשיעה (B. Wang, Zhang, Zhang, Brantingham, & Bertozzi, 2017). חיזוי פשיעה נמצא בשימוש בעשרים מתוך חמישים מחלקות המשטרה הגדולות ביותר בארצות הברית (Upturn, 2016), ובשלבי התרחבות לערים רבות נוספות.

ב. התאמת השליטה ברובוטים: רובוטים נהנים ממערכות שליטה בתנועה המניחות שמבנהו הבסיסי של הרובוט נשמר. רובוט דו-רגלי, למשל, 'יודע' רק ללכת על שתי רגליים, ובמידה שיאבד רגל אחת, לא יוכל לחשוב על דרך חדשה ללכת באמצעות תמיכה המגיעה מידי, או באמצעות איזון המשקל מחדש על הרגל השלמה. עם זאת, מערכות למידת מכונה מתחילות להפגין יכולת לפיתוח דרכי שליטה עצמית חדשות עבור רובוטים, ומאפשרות להם ללמד את עצמם להתנהל בעולם (Greene, 2018; Tilley, 2017). יכולת זו חשובה במיוחד לרובוטים בשדה הקרב, מאחר ואלו נתקלים לעתים קרובות במצבים מסוכנים הפוגעים בשלמותם הפיזית.

ג. פיתוח כלים חדשים והתאמת קיימים: מערכות למידת מכונה מסוגלות לפתח כלים חדשים, כפי שהדגימה חברת Autodesk כאשר השתמשה בבינה מלאכותית לפתח שלדה חדשה ויעילה יותר לרכבים (Terdiman, 2015). בינות מלאכותיות מתקדמות יכולות לפתח משחקי מחשב חדשים (Parkin, 2017) ותוכנות חדשות, שלפחות במקרה אחד הוכחו כיעילות יותר ממערכות שתוכננו על-ידי בני-אדם (Dom Galeon, 2017). ככל שישתפרו יכולות הבינה המלאכותית, כך היא צפויה להצליח יותר בפיתוח והתאמת כלים טכנולוגיים קיימים. יכולת זו הינה בעלת חשיבות רבה בהתאמת הטכנולוגיות הצבאיות לצרכים חדשים תוך זמן קצר.

ד. פיתוח אסטרטגיות מיטביות בזמן-אמת: בינות מלאכותיות הצליחו כבר לנצח את טובי האסטרטגים האנושיים במשחקי מלחמה ממוחשבים כ- DOTA 2 (Open AI, 2017), באמצעות למידת המשחק בכוחות

עצמן. הצלחה זו עשויה לנבא את עתיד הלחימה, בה בינות מלאכותיות יספקו ייעוץ אסטרטגי לגנרלים ולמפקדים בשטח.

ה. **איסוף נתונים חכם:** בינות מלאכותיות יכולות להיות אחראיות על איסוף נתונים חכם משפע של מקורות והצלבתם זה עם זה להגעה לתובנות מודיעיניות בעלות-משמעות.

ביטחון ואינטראקציית אדם-מחשב

א. **הסברה ושיתוף האדם:** קיימת חשיבות רבה ליכולתם של מחשבים ורובוטים להסביר את עצמם לבני-האדם בשדה הקרב. רובוטים אוטונומיים צריכים להיות מסוגלים להסביר את פשר מעשיהם ואת המטלות שעליהם לבצע, גם לחייל הפשוט שבשדה. בינות מלאכותיות שמפתחות אסטרטגיות צבאיות צריכות להיות מסוגלות להסביר בפשטות ובבירור את הנחות היסוד שמאחורי האסטרטגיה שפיתחו ואת השלכותיה (Knight, 2017).

ב. **צ'אטבוטים למטרות הפצת מידע כוזב:** צ'אטבוטים ברשת האינטרנט יכולים לשמש להפצת מידע כוזב, בדומה לדרך בה 'צבאות טרולים' משרתים מדינות ככלי להפצת פרופגנדה ברשת, או לדרך בה בוטים בטוויטר הפיצו מידע כוזב בזמן הבחירות ב-2016 בארצות הברית (Gabe O'Connor, 2017).

ג. **צ'אטבוטים לתקשורת עם הציבור:** גופי שיטור מתחילים להשתמש בצ'אטבוטים כדרך לאיסוף מידע מן הציבור. הצ'אטבוט מתפקד כ- 'שוטר דיגיטלי' עמו יכולים אנשים לפתוח בשיחות ולשתפו במידע אודות פשעים ותלונות (Johnson K., 2016).

ביטחון וטכנולוגיות לאיסוף מידע

טכנולוגיות מתקדמות לאיסוף מידע הינן בעלות חשיבות גדולה עבור מערכות הביטחון. הן כוללות מספר סוגים שונים של טכנולוגיות ושימושים –

א. **מצלמות במעגל סגור (CCTV):** ערים רבות משלבות מצלמות CCTV ברחובותיהן ובאזורים רגישים, במטרה להרתיע פושעים ולסכל פשעים אפשריים. מערכות אלו מקבלות חיזוק נוסף כאשר הן מקושרות לתחנות המשטרה. כך, למשל, בניירובי שבקניה הותקנו 1,800 מצלמות אבטחה המקושרות ל-195 תחנות משטרה (BBC Future, 2015). בבייג'ינג שבסין קיימות יותר מ-46,000 מצלמות אבטחה – למעשה בכל פינת רחוב – והשוטרים אחראים על הפעלתן (Huang, 2015). לפי הדיווחים, המצלמות סייעו לפתור יותר מ-1,500 מקרים ב-2015.

ב. **מודלים מדויקים יותר לחיזוי פשיעה:** כאמור בסעיף העוסק בלמידת מכונה, איסוף המידע הגדול מאפשר לכוחות הביטחון לפתח ולהפעיל מודלים מדויקים יותר לחיזוי פשיעה ולהתמודדות עמה.

ג. **זיהוי ביומטרי מדויק:** באמצעות התקנים לזיהוי ביומטרי, ניתן לבצע זיהוי פנים וזיהוי רשתית ברמת הצלחה גבוהה ובעלות הפעלה ותחזוקה נמוכה.

ביטחון ואבטחת סייבר

אבטחת סייבר מהווה כיום את אחד הגורמים הקריטיים באסטרטגיית הביטחון של כל מדינה. מתקפות סייבר מתבצעות כנגד שפע של מכשירים, כולל מתקני תשתית קריטיים, ועולות למדינות ולאזרחים מיליארדי דולרים (Cerrudo, 2017). תקיפות סייבר יכולות להתמקד גם בגניבת מידע סודי רגיש בעל חשיבות בטחונית, כדוגמת גניבת המידע של 4.2 תיקים אישיים ו-5.6 מיליון צילומי טביעות אצבעות ממשרד התעסוקה האמריקני (Koerner, 2016). דוגמה אחרת היא גניבת המידע הגדולה מלוקהיד מרטין שהתגלתה ב-2009, במסגרתה הצליחו האקרים לגנוב מידע חסוי אודות מטוס הקרב F-35 (Mount, 2009).

ברור כי אבטחת סייבר הינה בעלת משמעות קריטית בכל אסטרטגיית ביטחון לאומי עתידית, במיוחד בעולם בו רובוטים ומערכות בינה מלאכותית נכנסים לשימוש בכל תחום פעילות צבאי. למעשה, לא ניתן כלל לדמיין שימוש במערכות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה באספקט בטחוני, מבלי להתייחס גם לסוגיות אבטחת הסייבר שלהן.

ביטחון ומערכות מבוססות-בלוקצ'יין

מערכות מבוססות-בלוקצ'יין עונות על צרכים חשובים בתחום הבטחוני. מערכות אלו יכולות להיות זמינות בכל עת, מבלי נקודת כשל אחת, ולספק שקיפות מלאה על מנת למנוע את החשש מפריצות ומשינוי המידע על-ידי האקרים (Deloitte, 2017).

6.5. אנרגיה

שוק האנרגיה הינו אחד השווקים החשובים ביותר ברמה הגלובלית, על אחת כמה וכמה בישראל, שאין לה במאגרי נפט משלה, ומבודדת מרוב שכנותיה. מעודד לציין שטכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה יכולות להיות בעלות חשיבות גדולה בכל הנוגע לשוק האנרגיה, ובאמצעות חתירה למצוינות טכנולוגיות בתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה, ישראל יכולה לקבל יתרון משמעותי בהשתלבות בשוק האנרגיה העולמי – אמנם לא כמפיקת אנרגיה בפני עצמה, אך כספקית שירותים ומוצרים חשובים בתחום זה.

אנרגיה ומערכות אוטונומיות

על אף שבמבט ראשון נראה שמערכות אוטונומיות ורובוטיות אמורות **לצרוך** אנרגיה, אנו רואים כי לרובוטים יש חשיבות גדולה לעתיד הפקת האנרגיה ולצמצום צריכת האנרגיה העולמית, בכמה דרכים שונות -

א. רובוטים שמשתלבים בהפקת אנרגיית מאובנים: חברות להפקת נפט וגז וטבעי משתמשות כבר היום ברובוטים כגון Iron Roughneck, המחבר צינורות קדיחה זה לזה, לעתים קילומטרים מתחת לפני הים או עמוק בתוך האדמה – מטלה רוטינית ומסוכנת כאשר היא מתבצעת על-ידי פועלים אנושיים (National Oilwell Varco, 2018). רחפנים ומזל"טים אוטונומיים יכולים לסייע בשיפור היעילות והבטיחות של אסדות קידוח ימיות (Ismail, 2017). סירות וצוללות אוטונומיות משתלבות באופן דומה בקידוחים ימיים (Liquid Robotics, 2016). רובוטים אלו ואחרים שיפרו כבר מזה שנים את היעילות, הבטיחות והפרודוקטיביות של התקנים להפקת אנרגיית מאובנים על היבשה ובלב ים. רובוטים ומערכות אוטונומיות מתקדמים יותר יוכלו בוודאי להגביר עוד יותר את הפרודוקטיביות בתחום זה.

ב. רובוטים שמשתלבים בהפקת אנרגיה מתחדשת: רובוטים משתלבים גם בתעשיית האנרגיה המתחדשת. קיימים רובוטים המנקים פאנלים סולאריים באופן אוטונומי – פעולה חשובה אך מייגעת בתחנות כוח סולאריות הכוללות לעתים מאות-אלפי פאנלים סולאריים, שכל אחד מהם דורש ניקוי מספר פעמים בשנה. הניקוי באמצעות רובוטים חוסך תשעים אחוזים מהמים המנוצלים בשיטות ניקוי אחרות, ויכול לשפר את הפקת החשמל בחמישה-עשר אחוזים, Robots, The Key to Cheap Renewable Energy? (Woody, 2013). רובוטים אחרים יכולים להתקין פאנלים סולאריים בתחנות כוח סולאריות במהירות וביעילות (Energy Matters, 2012), או לשנות את מנח הפאנלים ביחס למיקום השמש בשמים, במקום המערכות הקיימות כיום הנוטות להתקלקל לעתים קרובות, וכך לחסוך ב-15% מעלויות האנרגיה (Woody, 2012). Robots Are Making Solar Power Cheaper, (2012). רחפנים ורובוטים אחרים משמשים לפיקוח על טורבינות רוח (LaMonica, 2012).

ג. רובוטים בחלל להפקת אנרגיה ומשאבים: קיימות תכניות לשימוש ברובוטים בחלל להפקת אנרגיה באמצעות תפעול פאנלים סולאריים (Warmflash, 2017), או לכריית אסטרואידים במסלול קרוב לכדור-הארץ (Planetary Resources, 2018). תכניות אלו אינן צפויות להתממש בחמש השנים הקרובות, ובהחלט ייתכן שלא יתממשו עד 2030 או אפילו מאוחר יותר.

ד. רכבים אוטונומיים חשמליים: הציפייה הרווחת היא שרכבים אוטונומיים בכבישי הערים יהיו חשמליים ("אפס פקקים. אפס התנגשויות. אפס פליטות." כדברי מנכ"לית GM) – דבר שיוביל לירידה משמעותית בצריכת דלקי המאובנים (Hawkins, 2017).

אנרגיה ולמידת מכונה

למידת מכונה ומערכות לומדות יכולות להיות בעלות חשיבות גדולה רבה לעתיד האנרגיה, במספר דרכים כדלקמן:

א. פיתוח מודלים יעילים יותר לשימוש באנרגיה: מערכות למידת מכונה יכולות לפתח מודלים יעילים יותר לשימוש באנרגיה במתקנים. גוגל הצליחה לצמצם את עלויות הקירור בחוות השרתים שלה בארבעים אחוזים באמצעות שימוש במערכת למידת מכונה שפיתחה מודל חדש ויעיל יותר לצריכת האנרגיה (DeepMind, 2016). קשה להאמין שמדובר במקרה יוצא-דופן. סביר יותר להניח שמערכות למידת מכונה שיעמדו בפני בעיות דומות, יצליחו לצמצם את צריכת האנרגיה בבניינים ובמפעלים מסביב לעולם בעשרות אחוזים.

ב. פיתוח מודלים יעילים יותר להעברת אנרגיה: קיימת חשיבות רבה לשמירה על רמה מסוימת של אנרגיה זמינה ברשת האנרגיה הלאומית. גוגל בשלבי חתימה על חוזה מול רשת החשמל הלאומית של בריטניה, במסגרתו יורצו מערכות למידת מכונה על מנת לשפר את יעילות העברת האנרגיה ברשת בעד עשרה אחוזים (Maloney, 2017). מערכות למידת מכונה אמורות להיות מסוגלות ליעל את תהליכי העברת האנרגיה ברשתות האנרגיה הלאומיות באופן דומה, וכבר היום מתעניינות ענקיות האנרגיה בשילוב מערכות עצבים מלאכותיות ברשתות האנרגיה (Goldstein, 2017).

ג. חיזוי מראש וזיהוי מהיר של תקלות: מערכות למידת מכונה מסוגלות לקבל ולעבד כמות גדולה של מידע ממספר עצום של חיישנים ומקורות שונים, ולחזות שינויים בצריכת האנרגיה בזמן-אמת, ואף לפתח מודלים מעודכנים בהתאם לדרישות המשתנות ולציוד המתחלף (Drax, 2017).

ד. איתור יעיל של מקורות אנרגיה חדשים: מערכות לומדות יכולות לסייע לחברות הנפט והגז לאתר מאגרים תת-קרקעיים וימיים חדשים, באמצעות ניתוח כמויות גדולות של מידע וזיהוי תבניות. ענקית האנרגיה Total בוחנת בימים אלו כיצד ניתן להשתמש בבניה המלאכותית של גוגל למטרות אלו (Ambrose, 2017).

באופן כללי, יש לצפות לצמיחתה של רשת חשמל חכמה (smart grid) במדינות רבות, במסגרתה תועבר אנרגיה בין נקודות רבות בעיר באופן מבוזר, לפי הצורך ולפי יכולת ייצור האנרגיה בכל נקודה. מערכת כזו תוכל לממש את מלוא הפוטנציאל שלה רק כאשר תנוהל בזמן-אמת על-ידי בינה מלאכותית שתבצע אלפי החלטות מדי דקה, על מנת להגיע ליעילות מירבית. כפי שכתב פרנקלין וולף –

"הטכנולוגיה תאסוף כל העת ותסנתז כמויות עצומות של מידע ממיליוני חיישנים חכמים בכל המדינה, על מנת לקבל החלטות בזמן-אמת על הדרך הטובה ביותר להקצות משאבי אנרגיה. בנוסף, ההתקדמויות שיתקבלו מאלגוריתמי "למידה עמוקה" ... יחוללו מהפכה בכלכלת האנרגיה – גם בצד הביקוש וגם בצד ההיצע." (Goldstein, 2017).

אנרגיה ואינטראקציית אדם-מחשב

חברות אנרגיה מתחילות להשתמש בטכנולוגיות לאינטראקציית אדם-מחשב בעיקר כדרך לספק שירות ללקוחות. חברות כ- Exelon – ענקית שירותי האנרגיה האמריקנית – מפתחות צ'אטבוטים המסוגלים לתת שירות במסרונים או דרך מסג'ר בפייסבוק בנוגע לשאלות שונות, כ- "מתי יחזור האור?" או "מתי עלי לשלם את חשבון החשמל" (Murphy, 2017).

אנרגיה וטכנולוגיות לאיסוף מידע

טכנולוגיות לאיסוף מידע יכולות לתרום לוורטיקל האנרגיה במספר דרכים –

א. שימוש בחיישנים לחיזוי צריכת אנרגיה: הודגם כי ניתן להשתמש בחיישנים חכמים בבתים על מנת לשפר את החיזוי בנוגע לצריכת החשמל באותם בתים (Holger Ziekow, 2013).

ב. התאמת היצע האנרגיה לביקוש במהירות: ג'נרל אלקטריק מפתחת רשת חיישנים המאפשרת להתאים את פעילותן של טורבינות רוח לפי הצורך (Kellner, 2015). ניתן להשתמש גם בחיישנים בבתים על מנת לנתב את מעבר האנרגיה ברשתות החשמל החכמות לבניינים שזקוקים לאנרגיה באותו רגע.

ג. התמודדות עם מצבי קיצון: סיסקו וחברות אחרות נעזרות באינטרנט של הדברים על מנת לזהות נקודות כשל במערכת החשמל ולטפל בהן במהירות בעת הצורך (Drinkwater, 2016).

אנרגיה ואבטחת סייבר

מערכות האנרגיה מהוות מטרה לתוקפי-סייבר ולטרוריסטים. לפי דו"ח של משרד האנרגיה האמריקני, מערכת החשמל "עומדת בפני סכנה קרבה" מצד מתקפות סייבר שהופכות למתוחכמות ותדירות יותר (U.S. Energy Department, 2017). דו"ח מ-2016 של מועצת האנרגיה העולמית – The Road to Resilience: Managing Cyber Risks – מתאר את איומי הסייבר כאחד מהנושאים שמדאיגים ביותר את חברות האנרגיה (World Energy Council, 2016). ואכן, ב-15 השנים האחרונות חוו רשתות האנרגיה יותר מ-11 מתקפות חלקן, כמו באוקראינה, הצליחו עד כדי כך ששתי תחנות כוח שותקו כמעט לחלוטין למשך שעות ארוכות (Zetter, 2016). אחרות, כמו בישראל ב-2016, לא הצליחו לשתק את הרשת, אך נדרשו לחברת החשמל יומיים לחזור לפעילות רגילה (לוי, 2017).

אין פלא שחברות האנרגיה השונות בוחנות שימוש בטכנולוגיות מתקדמות לאבטחת סייבר. ההמלצות בתחום כיום לחברות האנרגיה כוללות, לפי הנייר הלבן ששחררה יוזמת האנרגיה של MIT (Cyril W. Draffin, 2016).

- א. אימוץ נהלים לאבטחת סייבר.
 - ב. פיתוח תרבות של ניהול סיכונים.
 - ג. שיתוף מידע מהיר בין חברות האנרגיה אודות איומי סייבר.
 - ד. העסקת צוותים מיומנים המבינים את פעילות הבסיס של החברה, מסוגלים לפתח מספר שכבות הגנת-סייבר ולזהות ולהגיב במהירות לאירועי סייבר חדשים.
 - ה. הגברת חוסן (resilience) המערכת על מנת להימנע מהפסקות חשמל ממושכות בעקבות מתקפות סייבר.
 - ו. שימוש בטכנולוגיות אבטחת סייבר מתקדמות על מנת לספק תגובה למתקפות סייבר תוך אלפיות השנייה ולא תוך חודשים.
- ברור כי במידה ואפילו חלק מההמלצות הללו ימולאו, יהיה צורך רב בעובדים בתחום אבטחת הסייבר עבור סקטור האנרגיה.

אנרגיה ומערכות מבוססות-בלוקצ'יין

במבט ראשון נראה כאילו אין קשר ישיר בין אנרגיה לטכנולוגיות הבלוקצ'יין, אך ניתוח מעמיק יותר של הטכנולוגיה מוכיח כי מערכות מבוססות-בלוקצ'יין הינן בעלות פוטנציאל משמעותי לשינוי הדרך בה פועל שוק האנרגיה כיום, בכמה אופנים שונים –

- א. **מסחר מהיר באנרגיה:** חברות אנרגיה יכולות להשתמש במערכות בלוקצ'יין לזיהוי מהיר של מחירי אנרגיה ומסחר מיידי (כולל תשלום) בסוגי אנרגיה שונים. שימוש זה חשוב במיוחד בשוק האנרגיה העתידי, בו התקנים שונים ברחבי העיר יקצרו כמויות אנרגיה קטנות מגורמים מתחדשים (שמש, רוח, תנועה) ויסחרו באנרגיה ביניהם לפי הצורך. מערכות בלוקצ'יין למסחר מהיר באנרגיה מתחילות להיבחן כבר בימים אלו על-ידי ענקיות הנפט BP ו-Eni (Reuters, 2017).
- ב. **ניטור אחר שוק האנרגיה:** פנקסים גלובליים מבוססי-בלוקצ'יין מסוגלים להכיל מידע אודות כלל הטרנסאקציות המתבצעות בשוק האנרגיה. מידע זה יכול להיות בעל חשיבות גדולה לפיתוח מודלים יעילים יותר לפעולת חברות אנרגיה. חברת EnergiMine, למשל, מתכוונת להתחיל לספק שירותים מסוג זה כבר בעתיד הקרוב (EnergiMine, 2017).
- ג. **אנרגיה ללא מתווכים:** אחד השימושים המלהיבים ביותר את דימיון המשקיעים בתחום הבלוקצ'יין, הוא הקמת פלטפורמה שתאפשר לאנשים מן השורה לשתף ולסחור באנרגיה שהם מפיקים בבתייהם ממקורות מתחדשים כשמש ורוח. חוזים חכמים מבוססי-בלוקצ'יין יאפשרו לאנשים לחלוק באנרגיה שלהם, באופן דומה לזה בו הם חולקים את רכביהם (בעזרת אובר) ואת בתייהם (בעזרת איירבנב) תמורת תשלום. ההדגמה הראשונה להיתכנות הרעיון אירעה בניו-יורק ב-2016, ומאז התבצעו ניסויים נוספים באוסטרליה (Laclau, 2017).

ד. **תשתיות אנרגיה בבעלות ציבורית:** קיימות תכניות לאפשר רכישה ותחזוקה משותפת של תשתיות אנרגיה יקרות (למשל, פאנלים סולאריים), על-ידי מספר אזרחים ביחד, או על-ידי קהילות שלמות. חברת MyBit מנסה לפתח חוזים חכמים למטרה זו (Deign, New Startups Fuel Growth in the Energy Blockchain Ecosystem, 2017).

ה. **הוספת משחקיות לשוק האנרגיה:** באמצעות טכנולוגיות הבלוקצ'יין הפונות לקהל הרחב, ניתן להוסיף 'משחקיות' לשוק האנרגיה, ולפנות לאינדיבידואלים במטרה להשפיע על דרכי צריכת והפקת האנרגיה שלהם. חברת Greeneum הישראלית, למשל, מתגמלת את יצרני האנרגיה הנקיה בצבור במטבעות דיגיטליים – Greeneum Carbon Credits – ובתעודות הוקרה (Greeneum, 2018).

ו. **אבטחת סייבר:** שימוש במערכות מבוססות-בלוקצ'יין יכול להגביר את בטיחות הסייבר של חברות האנרגיה בכמה אופנים שונים. פנקסי בלוקצ'יין גלובליים מקשים מאד על שינוי המידע לאחר שתועד, מפחיתים את הצורך במתווכים שעולים כסף ומוסיפים נקודות תורפה למערכת, מספקים מידע גם כאשר נקודה אחת או כמה נפרצו, מאפשרים פרטיות ברמה גבוהה ומספקים יכולת לשלוח מידע לעיבוד במיקור-חוץ באופן אוטומטי ובטוח (Garrett MacDonald, 2017).

לפי חברת Ernst & Young, חברות אנרגיה שישלבו מערכות מבוססות-בלוקצ'יין בפעולותיהן, יוכלו ליהנות מחיסכון פוטנציאלי ברווחים של 30-60 אחוזים (Ernst & Young, 2017).

6.6. חקלאות

טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה מובילות בחקלאות המודרנית ומהוות חלק בלתי נפרד ממושג החקלאות המדייקת המתפתח כיום בקצב מואץ. להלן מפורטים יישומים חקלאיים שונים המצויים בשימוש כמו גם אלו בשלבי פיתוח ומצביעים על הכיוונים הקיימים והעתידיים בתחום מרכזי זה.

חקלאות ומערכות אוטונומיות

מערכות רובוטיות מתוחכמות מפותחות ומיושמות בתחומים שונים של החקלאות ובמיוחד במסגרת החקלאות המדייקת. מטרת פיתוחים אלו הינה לייעל את העבודה החקלאית על היבטיה השונים.

א. **רובוטים הפועלים בחלקה החקלאית עצמה או בחממות:** מבין המערכות שפותחו בשנים האחרונות, ניתן לציין מערכות רובוטיות לזיהוי וחישה של מחלות צמחים בחממות (Schor et al., 2017), וכן מערכות מרובות חיישנים המבוססות על אינטליגנציה מלאכותית שפותחו לצורך זיהוי מצבי עקה שונים (Ruckelshausen et al., 2009). אחת הדוגמאות למערכת מהסוג הזה, הינה מערכת חישה המבוססת על הבדלים בניתוח החזר האור (Reflectance) בין צמחים בריאים לאלו הנגועים במחלה, ומטרתה לתת אינדיקציה לגבי כמות הריסוס הנדרשת באופן דיפרנציאלי בהתבסס על מידת החומרה של המחלה בחלקות ספציפיות בשדה כפי שנמדדת במערכת בזמן אמת (Moshou et al., 2011). היתרון הבולט של שיטה זאת הינו ההפחתה ברמת הריסוס הנדרשת לשמירה על היבול (Moshou et al., 2011).

מאמץ נוסף נועד לסייע בפיתוח רובוטים מתוחכמים לביצוע פעולות שגרתיות כגון ניכוש עשבים מזיקים בשדה, על בסיס עיבוד תמונה ממוחשב ולמידת מכונה המזהה ומבדילה בין העשב המזיק לבין הצמח עצמו (Bakhshipour & Jafari, 2018) וכן מערכות אוטונומיות המשולבות בראיה ממוחשבת לצרכי זריעה, קטיף, גיזום, כיסוח וריסוס ("Robotic Packing, Orchard Robotics & QuadDuster | Robotics Plus," n.d., "Robots in Agriculture | Into Robotics," 2015).

מערכות רובוטיות יכולות להיות משולבות גם עם אמצעים אוויריים בלתי מאוישים (UAV) ("Farming with robots | Robohub," 2016). אלו, כדוגמת רחפנים, המסייעים לפעולות החקלאיות, מצלמים את השדות מהגובה, ומסוגלים לתת אינדיקטורים חשובים כגון גובה הצמחים, מצב ההשקיה של השדה, אחידות הצמחיה, טמפרטורת הקרקע, ביו-מסה ועוד ("Best Drones For Agriculture 2017: The Ultimate Buyer's Guide," n.d.; Honkavaara et al., 2013) כמו גם לאגד מידע המגיע מחיישנים שונים בשדה (Uddin, Mansour, Jeune, Ayaz, & Aggoune, 2018). חלק ממערכות החישה השונות אף מציגות רמה מתקדמת של אוטומציה בכך שהן מספקות נתונים ישירות לכלים החקלאיים, ואלו מתורגמים בתורם להנחיות לפעולה אוטונומית (Noyes Katherine, 2014).

ב. **רובוטים לשימושים חקלאיים במבנים:** רובוטים ומערכות אוטונומיות משולבים באופן משמעותי כמו גם נמצאים בפיתוח עתידי למטרות אריזה ומיון של תוצרת חקלאית וייעול התהליכים הקשורים בכך. כדוגמה ניתן לציין מערכות שמטרתן למיין את התוצרת החקלאית על פי גודלה וטיבה תוך שימוש בטכנולוגיות ראייה ממוחשבת ועיבוד תמונה (K. Patil et al., 2016). למרות שמערכות אלו קיימות מזה זמן בשימוש תעשייתי, הן השתכללו בהיבטי מהירות, יעילות כמו גם בשמירה על סביבת עבודה סטרילית, ותפקידיהם אף הורחבו בשנים האחרונות לתחומים נוספים כגון חיתוך בשר תוך הסתייעות בעיבוד תמונה ממוחשב ואוטומציה של התהליך (Bogue, 2010).

ג. **רובוטיקה בשרשרת אספקת המזון לצרכן:** תהליכים מואצים של שילוב מערכות אוטומציה מתרחשים גם בשרשרת אספקת המזון לצרכן. אלו כוללים שינוע התוצרת, סידורה ומילוי המדפים בחנויות. ברשתות גדולות נעשה לאחרונה שימוש ברובוטים לצורך הסרת תוצרת שתוקפה פג מן המדפים (McKevitt Jennifer, 2017; Nichols Megan Ray, 2017). היבטים נוספים הנוגעים לשימושי האוטומציה ברובוטיקה קשורים לזירוז התהליך ומניעת חסימות פיזיות בשרשרת אספקת המזון באמצעים טכנולוגיים שונים (Nichols Megan Ray, 2017). בנוסף, מערכות רובוטיות ואוטונומיות השתלבו בהיבטים שונים של אספקת המזון לצרכני הקצה, כגון מלצרים במסעדות (ראה תמונה להלן) (Nguyen Clinton, 2016) ואף שימוש ברחפנים כשליחים (Reid David, 2016).

חקלאות ולמידת מכונה

מצבי עקה ביוטיים וא-ביוטיים שונים בצמחים עשויים להיות מאובחנים על בסיס מידע סנסורי וחזותי באמצעות טכנולוגיות של למידת מכונה (Singh, Ganapathysubramanian, Singh, & Sarkar, 2016). במסגרת זאת, אבחון מחלות צמחים באמצעים מתקדמים של למידת מכונה ואינטליגנציה מלאכותית הוא תחום מתפתח הנועד לסייע למגדלים לזהות באופן מהיר ויעיל שינויים שעשויים לרמז על התפתחות מחלה ביבול (Modern Agriculture, 2017; Sladojevic, Arsenovic, Anderla, Culibrk, & Stefanovic, 2016). כיום מצויות בפיתוח מערכות חכמות המסוגלות, באמצעות אינטליגנציה מלאכותית ולמידת מכונה בשילוב פענוח ממוחשב של תמונה, לזהות סוגים שונים של מחלות צמחים ומידת חומרת השפעתן על הצמח. מבין הקריטריונים הנבדקים על ידי מערכות אלו, ניתן לציין את זיהוי וכימות האזור הנגוע (עלה, פרי, גבעול וכו'), וכן את אפיון הצורה והצבע של הנגע המשויך למחלה (Prameetha Pai & Amutha S, 2017). מערכות מבוססות למידת מכונה (Convolutional Neural Networks (CNN עושות שימוש בבסיסי נתונים גדולים על מנת ללמוד מודלים שונים של מחלות צמחים והשוואת תמונות אל מול צמחים בריאים, והצליחו להשיג דיוק מרבי בזיהוי ודיאגנוזה של מחלות צמחים שונות (Ferentinos, 2018; Lu, Yi, Zeng, Liu, & Zhang, 2017). בסיסי נתונים המכילים עשרות אלפי תמונות של צמחים הנגועים במחלות שונות נוצרו בשנים האחרונות מתוך הבנת הצורך והפוטנציאל הקיים בבניית מערכות אוטומטיות מהסוג שתואר לעיל (Hughes & Salathe, 2015).

שימושי למידת המכונה מסייעים ליצירת מודלים שונים המסייעים לחקלאים בזמן אמת. אלו כוללים, לדוגמה, מודלים לחיזוי טיב הקרקע ורמת הלחות שלה (Soil Prediction) כמו גם מערכות תומכות החלטה כגון סוג הגידול המתאים לתנאי הקרקע, ריסוס, טיפול בעשבייה ודישון (Juhi Reshma & Pillai, 2018).

בהיבט נוסף של שימושי למידת המכונה בחקלאות, חברות גדולות כגון Microsoft פועלות בשיתוף פעולה עם מכוני מחקר חקלאיים ליצור כלים מבוססי למידה מכונה שסייעו לחקלאים לחזות ולקבוע את מועד הזריעה האופטימלי על בסיס מודלים המתחשבים בתנאי מזג האוויר והקרקע ("Pioneering digital agricultural applications to help farmers cope with climate change – ICRISAT," 2016).

בתחום המחקר החקלאי הבסיסי, משמשים יישומים שונים של ה Big Data ולמידת המכונה למטרות מחקר כהבנת ומיפוי מסלולים גנטיים בצמחים כמו גם למטרות מחקר ופיתוח כדוגמת פיתוח זנים באמצעות ניתוח ממוחשב של רצפי דנ"א תוך הסתמכות על מאגרי מידע גדולים (Esmeijer, Bakker, Ooms, & Kotterink, 2015; Ma, Zhang, & Wang, 2014).

חקלאות ואינטראקציית אדם-מכונה

כלים נוספים מתפתחים כיום לטובת עיבוד שפה טבעית ולמידת מונחים חקלאיים והקשריהם מתוך טקסט נתון. אלו נועדו לשם הבנה ועיבוד ממוחשב של המידע שבתורו יסיע לשיפור העבודה החקלאית (Niladri Chatterjee & Neha Kaushik, 2017). מאמצים לזיהוי מונחים חקלאיים מתבצעים גם מתוך הקלטות קוליות ומערכות אוטומטיות לזיהוי קול, לטובת סיוע לחקלאים בתחומים שונים כגון תמחור ותנאי מזג אויר (Mandal, Jain, Ojha, & Shukla, 2015; Yadava & Jayanna, 2017).

במקביל, קיימים אמצעים שונים בפיתוח שנועדו לשפר את אינטרקציות האדם-מכונה בכלים חקלאיים שונים (כגון כלים כבדים וטרקטורים) או בבתי גידול. דוגמאות לכך הינן מערכת מבוססת זיהוי קול שיכולה להפסיק את פעולתו של טרקטור במקרי חירום, על ידי הוראה קולית מצד המפעיל (Kesserling Kenzie, 2016) או מערכות מבוססות קול שיכולות לשנות תנאים כגון מידות החום והלחות ("An Extra Set of Hands for Insect Farming: Artificial Intelligence for Ag Tech," 2017).

שימושי IoT ו-Big Data ביישומים חקלאיים

ה-Big Data מהווה חלק עיקרי מהחקלאות מדייקת (Precision Agriculture) על יישומיה השונים (Esmeijer et al., 2015) ולו שימושים רבים ומגוונים בחקלאות המודרנית. אלו כוללים איסוף, ניתוח מידע והפקת תובנות שונות מתוך אינפורמציה חקלאית כגון מועדי וכמויות זריעה, ריסוס, טיב הקרקע, יבול ואף תחזיות מזג אויר (Wolfert, Ge, Verdouw, & Bogaardt, 2017). כיום, קיימים בשוק כלים טכנולוגיים מתקדמים המאפשרים קבלת החלטות חקלאיות בזמן אמת, על בסיס ניתוח מידע רב ושימוש באלגוריתמיקה חכמה. במסגרת פיתוחים אלו ישנן, לדוגמה, מערכות המנטרות באופן אוטומטי את רמות החנקן בקרקע ומספקות התראות והמלצות לגבי אופן הזריעה המומלץ בהתאם לטיב השטח. חלק ממערכות החישה השונות אף מציגות רמה מתקדמת של אוטומציה בכך שהן מספקות נתונים ישירות לכלים החקלאיים, ואלו מתורגמים בתורם להנחיות לפעולה אוטונומית (Noyes Katherine, 2014).

מערכות המבוססות על מידע רב מפותחות גם עבור יישומים חקלאיים נוספים כגון יעול תהליך החליבה ברפתות על כל היבטיה והגברת תפוקת החלב ("DairyGlobal - Bringing artificial intelligence to the dairy barn," 2017; Kulatunga, Shalloo, Donnelly, Robson, & Ivanov, 2017).

יישומי ה-Big Data אינם מוגבלים רק לתהליך החקלאי עצמו, אלא מסייעים גם בשימושים עסקיים נוספים, כגון החלטות הנוגעות לשינוע התוצרת החקלאית ושרשרת העברת המזון לצרכן. כמו כן, משתמשים במידע הרב לצורך טיוב המודלים העסקיים (Lei & Ur, 2016) ובמסגרת זאת התפתחו כלים המשתמשים באנליזות המבוססות על Big Data בכדי לנהל משקים חקלאיים ברמות המיקרו והמאקרו ("About - cropin Technology Solutions," n.d.; Noyes Katherine, 2014).

ל-IoT חשיבות ביישומים שונים בעולם החקלאות. אלו כוללים, לדוגמה, פיתוחים המאפשרים צריכת מים חכמה בהתבסס על מכלול נתונים מהקרקע, העברת נתונים מסנסורים החשים המצאות ניטרטים בקרקע למערכת שמירת נתונים בענן, וחיבור מערכות חישה האוספות מידע מכלי טיס בלתי מאוישים למערכות תומכות החלטה אחרות (Srilakshmi, Rakkini, Sekar, Manikandan, & Srilakshmi, 2018). ישומים אחרים הם, לדוגמה, טרקטורים המחוברים ישירות לרשת האינטרנט ויכולים להחליף נתונים בזמן אמת (Greene Tim, 2016). הפוטנציאל ביישומים אלו הוא משמעותי ומערכות מסוג זה צפויות להשפיע על התעשייה החקלאית בשנים הקרובות (Meola Andrew, 2016).

חקלאות ואבטחת סייבר

עקב השימוש המוגבר במערכות המבוססות על מידע רב, מחשוב וטכנולוגיות מתקדמות, קיימים איומי סייבר שעשויים להשפיע גם על התחום החקלאי. אלו, לדוגמה, יכולים להתבטא בפריצה למערכות המחשבים על מנת להגיע למידע חקלאי רב ערך או קניין רוחני (Manning Lauren, 2016). ה-FBI הזהיר בשנים האחרונות, כי הסקטור החקלאי חשוף יותר ויותר לתקיפות סייבר בשל השימוש המוגבר באמצעים דיגיטליים והמליץ לחקלאים להיערך בהתאם. תקיפות אלו עשויות להיות למטרות גניבת מידע הנוגע, למשל, לתפוקת היבול הצפויה ותמחורה, מגמות בשוק ולמשאביה החקלאיים של ארה"ב ("Smart Farming May Increase Cyber", 2017).

Targeting Against US Food and Agriculture Sector Federal Bureau of Investigation, Cyber Division Private Industry Notification," 2016).

כמו כן, רכיבים חשובים בחקלאות המדייקת, כגון חיישנים המעבירים מידע או הוראות לביצוע באופן אל-חטי' כמו גם מערכות תקשורת שונות מבוססות רשת, חשופים באופן מיוחד לפגיעות סייבר וקיים צורך להגן עליהם מפני תקיפות אפשריות היכולות לשבש או אף לשתק את פעולתן (West, 2018).

ראוי לציין כי חברות גדולות, כגון מונסנטו, אכן פעלו על מנת לאבטח עצמן מפני תקיפות סייבר ולהגן על המידע החקלאי שברשותן (Mueller Angela, 2015), אך גם חברות רבות בסדר גודל קטן ובינוני חשופות לתקיפות מעין אלו ועליהן להיערך בהתאם (West, 2018).

חקלאות ומערכות מבוססות-בלוקצ'יין

ניסיונות לשילוב טכנולוגיות הבלוקצ'יין בחקלאות נעשים במספר היבטים. אלו נוגעים למעקב אחר שרשרת אספקת המזון, מהיצור ועד האספקה בפועל ובכך יכולים לחבר בין היצרן לצרכן ולסייע בקביעת המחיר ובפיקוח על איכות התוצרת והמקור ממנו היא מגיעה (n.d., "Agriculture – Blockchain Technology"). כמו גם לתמוך במקרים של בעיות הקשורות לזיהוי מקור תוצרת קלוקלת.

בנוסף, טכנולוגיה זאת יכולה לסייע ביעול הלוגיסטיקה בכל הקשור לתכנון השינוע של התוצרת החקלאית וחיי המדף שלה (Hammerich Tim, n.d.).

שימושים נוספים של טכנולוגיית ה-Blockchain נמצאים כיום בפיתוח לטובת אבטחת מידע הנוגע לניטור פעילות בחממות "חכמות" והגנה על הקשר בין הרכיבים המעבירים מידע זה (A. S. Patil, Tama, Park, & Rhee, 2018).

7. החיים בעתיד של בינה מלאכותית

בחלק זה נסקור מספר תחזיות לעתיד עבור טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה והדרכים השונות בהן הן אמורות להשפיע על חיינו. ברור כי התחזיות הללו אינן מדויקות, אך הן יכולות לספק לנו הבנה ראשונית של גודל ומשמעות השינויים הקרבים.

בשנת 2014 ערך מכון הסקרים Pew מחקר איכותי (Pew Research Center, 2014), במסגרתו הוזמנו יותר מ-1,500 מומחים לחוות את דעותיהם בנוגע לעתיד הרובוטיקה והבינה המלאכותית בשנת 2025. המומחים הביעו הסכמה בנוגע למספר קביעות, כדלקמן –

א. **רבות מהעבודות ייתפסו על-ידי רובוטים ומחשבים:** רוב מכריע של המומחים מסכימים כי רבות מהעבודות המבוצעות כיום על-ידי בני-אדם, ייתפסו על-ידי רובוטים או סוכנים דיגיטליים עד 2025. עם זאת, הדעות חלוקות בנוגע ליכולת יצירת עבודות חדשות. בערך חצי מהמומחים סבורים שלא נצליח ליצור מקצועות חדשים ומשרות חדשות שיספקו תעסוקה למובטלים הטכנולוגיים. החצי השני מאמין שייוצרו מקומות עבודה חדשים, תעשיות חדשות ודרכים חדשות להתפרנס.

ב. **מערכת החינוך נכשלת במילוי תפקידה:** רוב המומחים מסכימים שהמוסדות הסוציאליים הקיימים כיום – ובמיוחד מערכת החינוך – אינם מצליחים להכין עובדים להתמודד עם הטכנולוגיה של העתיד.

ג. **שינוי בהגדרת העבודה:** רוב המומחים מסכימים כי הגדרת ה- 'עבודה' תשתנה באופן משמעותי בעשור הקרוב. אנשים צפויים להשקיע פחות זמן במשרות רוטיניות, משעממות ולא-נעימות, וליהנות מיותר זמן פנאי. עצם מושג העבודה ישתנה, מאחר ועבודות במשרה מלאה עשויות להפוך להיות נדירות.

רבים מהמומחים סיפקו מענה גם בנוגע לדרך בה ייראו חיינו בשנת 2025, כתוצאה מחדירת הבינה המלאכותית והרובוטיקה לחיי היום-יום של האזרח הפשוט. התשובות יכולות לספק לנו הבנה טובה יותר אודות היקף השינויים הצפוי לעוד פחות מעשור. התשובות מתחלקות למספר קטגוריות, שמכל אחת מהן נספק מספר ציטטות נבחרות.

- בינה מלאכותית ורובוטיקה ישולבו כמעט בכל אספקט מחיי היום-יום של רוב האנשים

"מכוניות הנוסעות מעצמן נראות מאד סבירות עד 2025. עיבוד שפה טבעי יוביל לאינטראקציות שיחתיות עם מערכות מבוסס-מחשבים. חיפוש בגוגל יהפוך כנראה לדיאלוג..." - וינט סרף, סגן נשיא בגוגל

"פיצות לא יישלחו עם בני-נוער המצפים לטיפ. כלי-רכב רובוטיים יגדלו מזון, אפילו בחוות עירוניות קטנות שיהפכו לנורמה, מאחר ואנשים רבים כל-כך יאבדו את עבודתם לרובוטים. את צילום הרנטגן שלך יסקרו סדרה של בינות מלאכותיות ברמה של ווטסון, ובני-האדם יקראו להתייעצות רק כשהמכונות לא יסכימו זו עם זו." – סטואי בוד, חוקר מוביל ב-GigaOM Research

"חקלאות וייצור מסורתיים יושפעו שניהם במידה רבה, כאשר בינה מלאכותית ורובוטיקה ישחקו תפקיד גדול בהפקה לפי כמות, בעוד שיוזמות בוטיק 'רטרו' מעוצבות היטב יתקיימו בשני התחומים. האימפקט על סקטור השירות תמשיך להיות נמוכה יחסית; ההשפעה על העובדים בסקטור הידע והמידע, לעומת זאת, תשנה הכל." – ג.פ. ראנגסוואמי, מדען בכיר ב-Salesforce.com

"חדירת הבינה המלאכותית והרובוטיקה תהיה קרובה למאה אחוזים באיזורים רבים. היא תהיה דומה לחדירתם של הטלפונים האלחוטים כיום: בערך לשני שלישי מהעולם יש אותם ומשתמשים בהם מדי יום." – מארק פרנסקי, ראש המכון לחינוך גלובלי עתידי

- הטכנולוגיות יוטמעו עד כדי כך שיהפכו להיות כמעט בלתי-נראות עבור רוב המשתמשים, רוב הזמן

"יהיה טבעי לדבר למחשבים המגיעים בכל צורה, ולצפות מהם להבין את המילים ואת המשמעות, ולבסס דיאלוג שיוביל במהירות לתוצאה הרצויה." – דיוויד אורגן, מנכ"ל Dotsub

"עד 2025, רובוטים / בינה מלאכותית... יתחילו להפוך לרעש רקע בחיי היום-יום של אנשים בעולם הפוסט-תעשייתי. ממוניות ללא-נהג לאוספי אשפה למערכות שירות אוטונומיות, מכונות יתחילו להתקיים במרחב החברתי שלנו באותה דרך בה עובדים אנושיים בשכר-נמוך (לעיתים קרובות מהגרים) קיימים כעת: נראים לעין, אך זוכים להתעלמות." – ג'מיס קסקיו, סופר ועיתידן

"מספר עצום של אוטומטונים יחליף את בני-האדם – משערי דרכונים אוטומטיים במעבר הגבול, למכונות חפצים בכל מקום, שואבי אשפה אוטומטיים, מכונות לניקוי חלונות, שליטה ברכבות ובמכוניות וכו'. חיי היום-יום שלנו יישארו כמקודם, אך העבודות הללו שבוצעו בעבר על-ידי מה שחלק יקראו לו "האנשים הבלתי-נראים", יבוצעו על-ידי "רובוטים בלתי-נראים." – אוליביר קרפין-לבלונד, ראש ניהול ב-Global Information Highway Ltd

- נסיעה, שינוע ולוגיסטיקה יעברו שינויים דרמטיים כתוצאה מחדירת הרובוטים והבינה המלאכותית לתחומים הללו

- סוכנים חכמים ינהלו חלק הולך וגדל מחיי היום-יום שלנו, ויהיו נוכחים-תמיד בביתנו

"נצפה ממחשבים שנפגוש להכיר אותנו ואת היסטוריית האינטראקציה שלנו עמם. באופן כללי, הם יבינו מה אנחנו רוצים, ותפקידנו יהיה פשוט לעדן ולאשר את הציפיה הזו." – האל וריאן, כלכלן ראשי בגוגל

"לעובדים היצירתיים של 2025 יהיה עוזר דיגיטלי בעבודתם ובחיייהם האישיים, שיחליף לגמרי את מה שאנו חושבים עליו כיום כעזרה משרדית. ישות זו (למעשה אוסף של תוכנות מבוזרות) תענה לטלפונים, תתאם פגישות (ותטפל בלוגיסטיקה בדיוק רב יותר מכל אדם), תנהל את הטיפול והתחזוקה של מקום המחיה וסביבת העבודה של אותו אדם, תעשה קניות ותהיה אחראית (היכן שמתאים) לניהול חיי הפיננסיים." – מנכ"ל חברה הבונה מכונות חכמות

- חלקים גדולים מסקטור השירות – אונליין ובעולם הפיזי – יושפעו

- התפתחויות בבינה מלאכותית ורובוטיקה יעזרו במיוחד לקשישים, לחולים ולאנשים עם מוגבלויות

נבהיר שוב כי העתיד אינו חייב להיראות בדיוק כפי שמתארים אנשי הטכנולוגיה והחזון שצוטטו לעיל. עם זאת, מתוך מעבר על התחזיות הללו, אנו יכולים להבין מה צפויות להיות יכולותיהן של המכונות ב-2025. אנו יכולים לראות כי המומחים חוזים כי עד שנה זו נגיע להישגים הבאים בטכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה –

- יכולת ניהול שיחה בסיסית עם בני-אדם של מכונות/רובוטים;

- רובוטים יוכלו לבצע אינטראקציה נטולת-סכנות בסביבה אנושית (רובוטים לא יפגעו בבני-אדם בשוגג, למשל, כפי שרובוטים תעשייתיים מהדור השני היו עושים);
 - רובוטים יוכלו להתמודד עם מצבים לא-רוטיניים, כנהיגה בכבישים. בינות מלאכותיות יוכלו להתמודד עם מצבים לא-רוטיניים באינטראקציות עם בני-אדם;
 - קישוריות אופפת-כל, שתאפשר לבינות המלאכותיות להחליף מידע אודות אינדיבידואלים ולתאם עמדות על מנת לשרתם באופן הטוב ביותר;
 - יצירת סטנדרטים לתקשורת בין מערכות שונות, בזכותם ניתן יהיה לבצע סוגים שונים ורבים של מטלות, כקניות, ניהול פיננסים ועוד באמצעות בינה מלאכותית (לחלופין, ייתכן שהבינות המלאכותיות יגיעו לרמת תחכום כזו שיוכלו להתמודד עם ממשקים שונים מאלו עבורם פותחו);
- אולי התובנה החשובה ביותר שניתן להפיק מהסקר היא שכל השינויים הללו עומדים להגיע במהירות. שנת 2025, אחרי הכל, מרוחקת מאיתנו רק כדי שש שנים בערך, נכון למועד סיום המחקר הנוכחי. זהו זמן קצר ביותר עבור שינויים בקנה מידה דרמטי כל-כך. קיימת בדו"ח אמנם דעת מיעוט לפיה השינויים יגיעו בהדרגה, אך זוהי – כאמור – דעת מיעוט.

8. תכניות לאומיות בנושאי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה

מספר מדינות הבינו את הצורך הדחוף בפיתוח תכנית לאומית שתכין את כוח העבודה, את התעשייה ואת הממשל להתפתחות המהירה של טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה ולהשתלבנות בחיי היום-יום³⁹. בחלק זה נסקור את התכניות החשובות ביותר, נזהה קווים לדמותן ומאפיינים משותפים ונפענח את המניעים והעקרונות העומדים מאחוריהם.

» התכנית האסטרטגית של ארה"ב למו"פ בינה מלאכותית

התכנית האסטרטגית של ארה"ב למו"פ בתחום הבינה המלאכותית התפרסמה ב-2016, והגדירה מערכת חשיבה באמצעותה ניתן לזהות צרכים טכנולוגיים ומדעיים בתחום הבינה המלאכותית, לעקוב אחר ההתקדמות ולמקסם את השפעת ההשקעות במו"פ על מילוי הצרכים הללו. התכנית קבעה גם סדרי עדיפויות עבור מחקר ופיתוח בתחום הבינה המלאכותית הממומנים על-ידי הממשלה, עם "מבט ארוך-טווח על השפעותיה משנות-המשחק של בינה מלאכותית על החברה ועל העולם", כפי שנכתב בדו"ח.

אחת ממטרותיה המוצהרות של התכנית האסטרטגית היא לזהות עבור ממשלת ארה"ב תחומים בבינה מלאכותית שהינם בעלי חשיבות חברתית גדולה, אך אינם מיועדים לשוק הצרכנים. תחומים אלו עשויים לכלול שימוש בבינה מלאכותית לטובת בריאות הציבור, מערכות עירוניות וקהילות חכמות, רווחה חברתית, משפט פלילי, סביבה וקיום בר-קיימא, ביטחון לאומי ומחקר ארוך-טווח שיאיץ את התפתחות הידע והטכנולוגיות בתחום הבינה המלאכותית. תחומים אלו יזדקקו, כפי הנראה, לתמיכה ולהשקעות ממשלתיות, מאחר והתעשייה תדיר רגליה מהם, ותימנע מהשקעת משאבים רבים בהם.

התכנית האסטרטגית כוללת בתוכה מספר הנחות יסוד בסיסיות אודות עתיד הבינה המלאכותית, כדלקמן –

- א. **המשך ההתקדמות בתחום:** הכותבים מניחים כי טכנולוגיות הבינה המלאכותית ימשיכו להשתפר במורכבותן, וכי התוצרים יתפשטו ברחבי החברה, כתוצאה מההשקעות הנרחבות במו"פ בתחום מצד הממשלה והתעשייה.
- ב. **אימפקט גובר:** הכותבים מניחים שהשפעת הבינה המלאכותית על החברה תמשיך לגדול, כולל על תחומים כתעסוקה, כלכלה, חינוך, ביטחון הציבור וביטחון לאומי.
- ג. **המשך הגדילה בהשקעות:** הכותבים מניחים שההשקעות בבינה המלאכותית מצד התעשייה ימשיכו לגדול, במיוחד מכיוון שההצלחות המסחריות האחרונות בתחום יגדילו את ערכו בעיני התעשייה. ובאותה

³⁹ הסקירה המבאת להלן כולל מדינות שפרסמו תכניות עד סוף שנת 2017. תכניות נוספות שיצאו בשנת 2018 יעודכנו בהמשך העבודה.

העת, הכותבים מאמינים כי תחומים חשובים מסוימים במחקר לא יקבלו מימון ראוי מצד התעשייה, מאחר וחברות פרטיות וציבוריות יתקשו לגדר את התוצרים ולהרוויח מהם.

ד. **המשך הגדילה בביקוש למיומנות:** הכותבים מניחים כי הביקוש למיומנות בבינה מלאכותית ימשיך לגדול בתעשייה, באקדמיה ובממשל.

כותבי התכנית האסטרטגית מתווים שבע אסטרטגיות שצריכות להנחות את ארצות-הברית בתמיכה בטכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה.

אסטרטגיה 1: השקעה לטווח-ארוך במחקר בבינה מלאכותית

קיים צורך להשקיע בבינה מלאכותית בתחומים עם פוטנציאל לרווח גדול בטווח הארוך – חמש שנים, עשר שנים או יותר. ההיסטוריה מוכיחה את יעילותן של השקעות כאלו, ואת יכולתן לכלכל חוקרים בתחומים מסוימים למשך העשורים הנדרשים עד למימוש מלא של הטכנולוגיה. כך אירע במקרה של רשת האינטרנט ושל למידה עמוקה – שתינה טכנולוגיות שהחלו להיחקר בשנות השישים של המאה הקודמת, והניבו פירות רק לאחר כמה עשרות שנים של מחקר רצוף.

הכותבים ממליצים למקד את ההשקעות בכמה תחומים במיוחד, כדלקמן –

- **קידום מתודולוגיות מבוססות-מידע לגילוי ידע חדש:** יש צורך בפיתוח אלגוריתמים חכמים יותר, שיפיקו משמעות מהררי המידע השימושי החבוי ב-"ביג דאטה". החוקרים שמפתחים אלגוריתמים אלו צריכים להבין כיצד לעבוד עם מקורות מידע וידע רבים – מהמדעים המדויקים וממדעי החברה ואפילו הרוח – ולשלב מודלים קונספטואליים שונים בתהליך למידת המכונה.
- **שיפור יכולות החישה של מערכות בינה מלאכותית:** כל שיפור בחיישנים ברמת החומרה, ובאלגוריתמים המפיקים מתוך הקלט משמעות מעשית, יגדיל את יכולותיהן של מערכות הבינה המלאכותית בעתיד. בנוסף, יש צורך לשפר את יכולות החישה כלפי בני-אדם, על מנת לאפשר למערכות רובוטיות לעבוד יותר ביעילות עם אנשים.
- **הבנת המגבלות והיכולות התאורטיות של בינה מלאכותית:** עדיין איננו מבינים היטב מהן היכולות והמגבלות התאורטיות של בינה מלאכותית, ברמת החומרה והתוכנה. יש צורך לפתח מודלים מתמטיים ומוחשבים בנושא זה, על מנת להבין יותר טוב היכן יש להשקיע משאבים ומאמצי מחקר כדי להתקדם במהירות בתחום הבינה המלאכותית וליישם את תוצרי המחקר בתעשיות המתאימות ביותר.
- **קידום המחקר לפיתוח בינה מלאכותית כללית:** מערכות הבינה המלאכותית כיום הן 'צרות' (narrow AI). מערכות בינה מלאכותית כללית (AGI – Artificial General Intelligence) לעומת זאת, יהיו מסוגלות ללמוד בעצמן תחומים חדשים ולשפר את יכולותיהן בהם מבלי מעורבות אנושית. רוב חוקרי הבינה המלאכותית מאמינים ש-AGI עדיין רחוקה מאיתנו כדי כמה עשרות שנים ושיש צורך בהשקעת משאבים גדולה כדי לפתח כזו, אך מבינים שמערכות כאלו יהיו בעלות משמעות עצומה לחברה האנושית.
- **פיתוח מערכות בינה מלאכותית סקילביליות:** השאיפה היא שמספר מערכות בינה מלאכותית יוכלו לשתף פעולה ביחד על מנת לבצע מטלות שמערכת אחת אינה מסוגלת להן. יש צורך להבין כיצד לפתח סטנדרטים אחידים ודרכי תקשורת משותפות לבינות המלאכותיות המפותחות עבור התעשיות השונות ועבור הממשל.
- **טיפול מחקר על בינה מלאכותית דמוית-אדם:** מערכות בינה מלאכותית דמויות-אדם יוכלו להסביר את עצמן ואת החלטותיהן לבני-אדם, להדריך אנשים ולסייע להם בכל מצב. בנוסף, מערכות דמויות-אדם יוכלו ללמוד ממספר דוגמאות קטן בהרבה מזה שהבינות המלאכותיות של היום זקוקות לו. אלפא-גו, למשל, למדה ממיליון משחקים ששיחקה נגד עצמה, אך שחקן גו אנושי צריך לשחק רק כמה אלפי משחקים כדי להגיע לרמה גבוהה.
- **פיתוח רובוטים יעילים ואמינים יותר:** הרובוטים מתחילים לצאת מהמפעלים ומהסביבות הנייטרליות והנקיות בהן שוכנו בתחילה, ולהגיע לכל סקטור תעשייתי. יש לתמוך במגמה זו באמצעות ייעול המערכות הרובוטיות והפיכתן לאמינות יותר ולקלות יותר לשימוש.

- **קידום חומרה לבינה מלאכותית משופרת:** ביצועיהן של מערכות הבינה המלאכותית תלוי במידה רבה בחומרה עליה הן רצות. השיפור הדרמטי ביכולות הלמידה העמוקה, למשל, הוא תוצר ישיר של טכנולוגיית המעבדים הגרפיים. חומרה מתקדמת יותר תביא לשיפור ביכולותיה של הבינה המלאכותית, במיוחד בתחומים הנסמכים על שפע של מידע.
- **יצירת בינה מלאכותית לשיפור החומרה:** מערכות בינה מלאכותית יכולות לסייע בשיפור הדורות הבאים של החומרה שמריצה אותן.

אסטרטגיה 2: פיתוח שיטות יעילות לשיתוף-פעולה בין בני-אדם ובינות מלאכותיות

מערכות אוטונומיות לגמרי יהיו בעלות שימושים חשובים בתחומים מסוימים כחקר החלל, אך בתחומים רבים אחרים יהיה צורך לשלב עבודה אנושית לצד מערכות הבינה המלאכותית על מנת להגשים את המטרה ביעילות המירבית. הכותבים מצפים שבעתיד הנראה לעין, חלוקת התפקידים בין בני-האדם והבינה המלאכותית תהיה לפי אחת מהקטגוריות הבאות –

- א. **בינה מלאכותית המתפקדת לצד האדם:** מערכות בינה מלאכותית יבצעו מטלות ציודיות שיסייעו למקבל ההחלטות האנושי. בינה מלאכותית תוכל, למשל, לעזור לבני-האדם באמצעות תגבור הזיכרון לטווח הקצר, אחזור זכרונות לטווח-ארוך ומטלות חיזוי.
 - ב. **בינה מלאכותית הפועלת כשהאדם נתקל בעומס קוגניטיבי גדול:** מערכות בינה מלאכותית אלו יבצעו מטלות ניטור מורכבות (למשל, מערכות התראה בנוגע לקרבה לקרקע במטוסים), קבלת החלטות ואבחון רפואי אוטומטי כאשר בני-האדם זקוקים לסיוע.
 - ג. **בינה מלאכותית הפועלת במקום האדם:** מערכות בינה מלאכותית אלו יבצעו מטלות שבני-אדם אינם מותאמים עבורן – למשל, ביצוע חישובים מתמטיים מורכבים, שליטה ברחפנים בסביבות צפופות, תגובה במהירות גבוהה, ועוד.
- יש צורך במחקר ופיתוח נוספים כדי להתאים את מערכות הבינה המלאכותית לתפקידים הללו מחד, ולאמן בני-אדם לפעול ולהתנסות בפעילויות משותפות עם הרובוטים ומערכות הבינה המלאכותית, על מנת שיבינו את יכולותיהן ואת מגבלותיהן. על מנת לעשות זאת, יש צורך להטמיע מספר עקרונות בפיתוח ותכנון המערכות הללו:
- א. לעשות שימוש בממשקים, אמצעי בקרה ומסכים ידידותיים למשתמש ואינטואיטיביים.
 - ב. ליידע את המפעיל לגבי המתרחש, במיוחד בנוגע למידע קריטי ולמצבה של מערכת הבינה המלאכותית.
 - ג. לוודא שהמפעיל מאומן, ולהמשיך לאמן את המפעילים בתחומי ידע, מיומנויות ויכולות כלליים, כמו גם בהבנת אלגוריתמים והלוגיקה בה עושות מערכות הבינה המלאכותית שימוש – ונקודות הכשל האפשריות של המערכת.
 - ד. להפוך את האוטומציה לגמישה, כך שמפעילים יוכלו לבחור האם לעשות שימוש במערכות בינה מלאכותית או שלא. יש צורך גם לתכנן וליישם מערכות בינה מלאכותית המסוגלות לתמוך במפעילים האנושיים במהלך תקופות עבודה עמוסות במיוחד או בעת תשישות.
- על מנת לעמוד בעקרונות הללו, יש צורך להתמודד עם מספר אתגרים גדולים –
- א. לפתח אלגוריתמים חדשים שיהיו מודעים לבני-האדם, ליכולותיהם, לנטיותיהם ולדרכי התנהלותם, ולהתאים את מערכות הבינה המלאכותית לבני-האדם;
 - ב. לפתח טכניקות בינה מלאכותית לתגבור יכולות האדם, דרך מחשבים, מחשוב לביש כמשקפיים חכמות ואפילו שתלים (כממשקי מוח-מכונה). בינות אלו יוכלו לסייע לאדם לזהות שגיאות בפרוצדורות רפואיות, למשל, או להיזכר בחוויות מן העבר הרלוונטיות למצב הנוכחי.
 - ג. פיתוח טכניקות ללמידה פעילה מצד המכונות. למידה פעילה מאפשרת למכונה לבקש היצע וקלט ממומחה אנושי, ולבצע למידה ומעבר על המידע רק כאשר האלגוריתם אינו בטוח מה לעשות. בדרך זו ניתן לצמצם את כמות המידע עליה יש לעבור.

ד. פיתוח טכניקות לוויזואליזציה של המידע ולממשקי אדם-מכונה: יש צורך לשפר את הוויזואליזציה וממשקי המשתמש על מנת לסייע לבני-אדם להבין את משמעותם של מאגרי מידע גדולים ושל מידע המגיע ממקורות שונים.

ה. פיתוח מערכות עיבוד שפה מוצלחות יותר, שיאפשרו לאנשים לתקשר בקלות עם מערכות בינה מלאכותית, כפי שהם עושים כיום עם עמיתיהם האנושיים. המערכות שיש כיום אמנם הגיעו להישגים מרשימים בהבנת שפה אנושית, אך גם הן מתקשות לתפקד בהצלחה בסביבות רועשות, או עם דיבור במבטא כבד, דיבור של ילדים ואנשים עם מוגבלות, או בהעברת וקליטת מסרים בשפת סימנים.

אסטרטגיה 3: התייחסות והבנת ההשלכות האתיות, המשפטיות והחברתיות של בינה מלאכותית

אנו מצפים ממערכות בינה מלאכותית אוטונומיות לפעול לפי הנורמות הרשמיות והלא-רשמיות התקפות עבור בני-אדם בחברה אנושית. לפיכך, יש צורך במחקר בנוגע לכללי האתיקה, החוק והחברה להם יהיו נתונות מערכות הבינה המלאכותית. מחקר כזה צריך להתייחס גם לסוגיות של פרטיות.

האתגרים המרכזיים העומדים בדרכה של אסטרטגיה זו כוללים את –

א. שיפור ההוגנות, השקיפות והאחריות האינהרנטית (accountability-by-design) של המכונה:

חוקרים צריכים ללמוד כיצד לפתח מערכות בינה מלאכותית כך שהטיותיהן ברורות למשתמשים, והחלטותיהן ותהליך קבלת ההחלטות שקופים ככל האפשר וניתנים לפענוח בקלות על-ידי בני-אדם. חשוב להבין כיצד להטמיע ערכים ומערכות אמונה בבינה המלאכותית. יש צורך גם להבין עד כמה ניתן להטמיע מגבלות של הוגנות וחוק לתוך מערכות בינה מלאכותית, וכיצד ניתן לעשות זאת בטכניקות ההנדסה הקיימות כיום.

ב. **בניית בינה מלאכותית אתית:** חוקרים צריכים לשאוף לפתח אלגוריתמים וארכיטקטורות התואמות וכפופות לחוקים הקיימים, לנורמות החברתיות ולעקרונות אתיים. זוהי מטלה מאתגרת במיוחד, מאחר וגם אם ניתן להחליט על עקרונות אתיים אוניברסליים מסוימים, קיים קושי גדול לתרגם אותם לקודים ולאלגוריתמים. יש צורך בגישה רב-תחומית לייצור מאגרי מידע לאימון ושיקוף מערכות ערכים הולמות, כולל דוגמאות להתנהגויות הולמות וקלוקלות.

ג. **פיתוח ארכיטקטורות לבינה מלאכותית אתית:** יש צורך במחקר בסיסי כדי להבין כיצד לתכנן ארכיטקטורות של מערכות בינה מלאכותית המשלבות התייחסות לעקרונות אתיים בקבלת ההחלטות שלהן. מגוון שיטות הוצעו בעבר, כולל "ארכיטקטורת ניטור בשני-שלבים" בה מנוטרת הבינה המלאכותית המבצעת את הפעולה, על-ידי ישות המעריכה את המשמעות האתית והמשפטיות של כל פעולה. לחלופין, ייתכן שדווקא עדיף לשים דגש על בטיחות, באמצעות פיתוח ארכיטקטורה המוודאת שהבינה המלאכותית בטוחה לשימוש ואינה מזיקה לבני-אדם. גישה שלישית היא לפתח ארכיטקטורה אתית בהסתמך על מספר עקרונות תיאורטיים, לצד מגבלות שיוטלו על התנהגותה של מערכת הבינה המלאכותית.

אסטרטגיה 4: וידוא הבטיחות של מערכות בינה מלאכותית

לפני שמערכות בינה מלאכותית מגיעות לשימוש נפוץ, יש צורך לוודא שהמערכת תתפקד באופן בטוח ומבוקר. יש צורך במחקר לפיתוח מערכות אמינות. האתגרים העיקריים בתחום זה כוללים –

א. **סביבות מורכבות ונטולות-ודאות:** מערכות בינה מלאכותית מפותחות לעבודה בסביבות מורכבות, במקרים רבים, עם מספר רב של מצבים אפשריים שלא ניתן לבחון את כולם. מערכת בינה מלאכותית, לפיכך, עשויה להיתקל במצבים שמעולם לא נשקלו בתהליך פיתוחה ותכנונה.

ב. **התנהגויות 'מגיחות' (emergent):** מערכות בינה מלאכותית רבות ממשיכות ללמוד גם לאחר תחילת השימוש בהן, ולפיכך התנהגות המערכת יכולה להשתנות לאורך זמן, בדרכים שקשה לחזות מראש.

ג. **שגיאות בהגדרת המטרה:** מכיוון שקשה לתרגם מטרות אנושיות לקוד מחשב, ייתכן שהמטרות שיתוכנתו לתוך מערכות בינה מלאכותית לא יתאימו למטרות אליהן התכוונו המתכנתים.

ד. **אינטראקציות אדם-מכונה:** במקרים רבים, ביצועיה של מערכת הבינה המלאכותית מושפעים באופן משמעותי מאינטראקציות עם בני-אדם. במקרים אלו, ההחלטות השונות מצד בני-האדם עשויות להשפיע על בטיחות המערכת.

על מנת להתמודד עם האתגרים הללו, יש צורך לקדם במספר דרישות –

- א. **שיפור השקיפות ויכולת ההסברה של בינות מלאכותיות:** אלגוריתמים רבים, במיוחד אלו המבוססים על למידה עמוקה, אינם מסוגלים (או מתוכננים) להסביר עצמם למשתמשים. עובדה זו בעייתית במיוחד בתחומים כביראות, בו הרופאים זקוקים להסברים על מנת להצדיק אבחנה או מסלול טיפול מסוימים. יש צורך לפיכך בפיתוח מערכות שקופות המסוגלות להסביר למשתמשים את הסיבות לפלט שהן מפיקות.
- ב. **בניית אמון:** על מנת לפתח יחסי אמון בין בני-האדם למערכות הבינה המלאכותית, צריכים המפתחים ליצור מערכות מדויקות ואמינות, עם ממשקים אינפורמטיביים וידידותיים-למשתמש. המפעילים, בתורם, צריכים לעבור אימון מתאים על מנת להבין את יכולות ומגבלות המערכות עמן הם עובדים.
- ג. **הגברת האימות והאישוש:** "אימות" משמעותו שהמערכת עומדת בסטנדרטים ובספציפיקציות מסוימים, בעוד ש-"אישוש" משמעותו שהמערכת עומדת בצרכים התפעוליים של המשתמש. מערכות בינה מלאכותית בטוחות עשויות לחייב יצירת דרכים חדשות להערכה (להבין האם המערכת מתפקדת כשורה), אבחנה (לזהות את הסיבות לתקלה) ולתיקון (להתאים את המערכת על מנת להתמודד עם התקלה). המערכות האוטונומיות ברמה הגבוהה ביותר עשויות להזדקק ליכולות להערכה-עצמית, אבחנה-עצמית ותיקון-עצמי על מנת להיות אמינות וחסונות.
- ד. **אבטחה ממתקפות:** בינה מלאכותית במערכות קריטיות חייבת להיות מוגנת ממגוון רחב של מתקפות סייבר מכוונות. הנדסת אבטחה מערבת הבנה של נקודות התורפה של מערכת ואת פעולותיהם האפשריות של ישויות שעשויות לתקוף אותה. יש צורך להתמודד עם סכנות סייבר שרלוונטיות במיוחד למערכות בינה מלאכותית – למשל תחום "adversarial machine learning", בו חוקרים כיצד ניתן לפגוע במערכות בינה מלאכותית באמצעות 'זיהום' מקורות מידע, שינוי אלגוריתמים או שיבוש יכולת זיהוי עצמים באמצעות הוספת שינויים קלים לחפצים.
- ה. **הגעה לרמת בטיחות גבוהה והתאמת ערכים של מערכות בינה מלאכותית בטווח הארוך:** מערכות בינה מלאכותית עשויות להצליח בסופו של דבר להגיע ל-"שיפור-עצמי רקורסיבי", בו מבצעת התכנה שינויים משמעותיים בקוד של עצמה, מבלי מעורבות אנושית. על מנת לוודא את בטיחותן של מערכות המשפרות-עצמן, יש צורך במחקר נוסף בנוגע לארכיטקטורות המפקחות על עצמן, פיתוח אסטרטגיות בידוד שיימנעו את שחרורן של מערכות מסוג זה במהלך הבדיקה שלהן, התאמת ערכי-העל של המכונה לאלו של המתכנתים האנושיים והחברה שמסביבם, ויצירת מערכות ערכים שעמידות לשינוי-עצמי.

אסטרטגיה 5: פיתוח מאגרי-מידע ציבוריים משותפים וסביבות לאימון ובחינת בינות מלאכותיות

התקדמות הבינה המלאכותית תלויה בהכרח במידע הזמין לאימון האלגוריתמים. מערכות בינה מלאכותית שונות יידרשו מאגרי מידע באיכות גבוהה לאימון וללמידה, כמו גם לסביבות מבחן בהן ניתן לבדוק ולאשש את יכולותיהן. מדובר באתגר לא-פשוט, מאחר וההתקדמות הטכנולוגית של הבינה המלאכותית עלולה להאט במידה ומאגרי המידע הגדולים ביותר יישארו ברשותן של מספר קטן של ישויות תעשייתיות ו/או ממשלתיות. על מנת להתמודד עם אתגר זה, מציעים הכותבים מספר פתרונות אפשריים.

- א. **פיתוח והנגשה של מגוון רחב של מאגרי מידע, על מנת לענות על צרכים שונים בבינה מלאכותית:** יש צורך בפיתוח של מאגרי מידע הזמינים לציבור הרחב, כמו גם בשיטות שיאפשרו לעבד ו-"לנקות" את המידע שהם מכילים ולהתמודד עם מידע חסר, לא-שלם ומלא ברעש. הנגשת מאגרי המידע צריכה להתאפשר במיוחד עבור מחקר הממומן על-ידי הממשל. עם זאת, יש צורך לוודא שהמידע משותף באופן בטוח ואתי, ששומר על האנונימיות והפרטיות של תורמי המידע.
- ב. **התאמה בין משאבי המידע לכלי ניתוח המידע:** מספר מאגרי המידע גדל בהתמדה, כמו גם כמות המידע שהם מכילים. עם זאת, הטכניקות והטכנולוגיות לניתוח המידע אינן עומדות בקצב צבירת המידע. יש צורך להתמקד בפיתוח טכנולוגיות וטכניקות מסוג זה.

ג. **פיתוח ספריות תכנה וערכות כלים בקוד פתוח:** זמינות הגוברת של ספריות תכנה וערכות כלים בקוד פתוח מאפשרת לכל מפתח המחובר לאינטרנט לעשות שימוש בבינה מלאכותית. כלים פתוחים כ- OpenNLP האיצו את תהליך הפיתוח והשימוש בבינה מלאכותית. יש לעודד לפיכך את השימוש בטכנולוגיות בקוד פתוח, שיקדמו את התחום באמצעות פתיחתו למספר גדול ככל האפשר של מפתחים ומתכנתים.

אסטרטגיה 6: אומדן והערכה של טכנולוגיות בינה מלאכותית באמצעות הצבת סטנדרטים ואמות מידה

יש חשיבות רבה להצבת סטנדרטים ואמות מידע בתחום הבינה המלאכותית – אך רק אם אלו יאומצו על-ידי הקהילה בתחום. יש צורך במיוחד בהתקדמות בתחומים הבאים –

- א. **פיתוח מגוון רחב של סטנדרטים לבינה מלאכותית:** יש צורך להאיץ את פיתוח הסטנדרטים בתחום הבינה המלאכותית, על מנת לעמוד בקצב השיפור המהיר של יכולות הבינה המלאכותית והתרחבותה לסקטורים שונים בתעשייה. אימוץ הסטנדרטים יסייע לפתח אומן בטכנולוגיות החדשות ויצור שוק בו הטכנולוגיות השונות יכולות לתקשר ולפעול זו עם זו.
- ב. **ביסוס אמות מידה לטכנולוגיות בינה מלאכותית:** אמות מידה המתבססות על מבחנים והערכות, מספקות אומדנים כמותיים לקביעת סטנדרטים ולבחינת רמת הציות לאותם סטנדרטים. אמות מידה מעודדות חדשנות באמצעות קידום פיתוחים שיתמודדו עם תרחישים מסוימים הנקבעים אסטרטגית. על מנת להעריך טכנולוגיות בינה מלאכותית, יש צורך לפתח מתודולוגיות ומטריקות רלוונטיות ויעילות.
- ג. **הגדלת הזמינות של אתרי מבחן (testbeds) לבינות מלאכותיות:** יש צורך באתרי מבחן בהם חוקרים יוכלו להשתמש במידע תפעולי להרצת ניסויים על מערכות אמיתיות ולבחון תרחישים בסביבות מבחן טובות. הצורך באתרי מבחן ברמה גבוהה משותף לכל תחומי הבינה המלאכותית. ממשלת ארצות הברית מחזיקה בכמויות גדולות של מידע רגיש, למשל, אך היא אינה רשאית לשתף חלק גדול מהמידע עם קהילת החוקרים. מכיוון שכך, ניתן לפתח תכניות ממשל מתאימות בהן חוקרים מהתעשייה ומהאקדמיה יוכלו לערוך מחקר בסביבות מבחן בטוחות ומפוקחות.
- ד. **עירוב קהילת הבינה המלאכותית בקביעת סטנדרטים ואמות מידה:** יש צורך בתיאום והובלה מצד הממשל על מנת לקדם יצירת סטנדרטים ולעודד שימוש רחב שלהם בממשלה, באקדמיה ובתעשייה. קהילת הבינה המלאכותית – משתמשים, תעשייה, אקדמיה וממשל – צריכה להשתתף בפיתוח תכניות לקביעת סטנדרטים ואמות מידה.

אסטרטגיה 7: הבנה טובה יותר של דרישות שוק העבודה במו"פ בינה מלאכותית

על מנת לקדם את תחום הבינה המלאכותית, יהיה צורך בכוח עבודה גדול מספיק בתחום זה. מסתמן מחסור בעתיד הקרוב במומחים בתחום הבינה המלאכותית, בהשוואה לביקוש הרב שיהיה להם. חברות הייטק משקיעות משאבים משמעותיים – ונכנסות למלחמת גיוס עם אוניברסיטאות וחברות אחרות – בגיוס פרופסורים וסטודנטים עם מומחיות בבינה מלאכותית.

יש צורך באיסוף מידע רב ככל האפשר ובמחקר נוסף כדי להבין טוב יותר את צרכי שוק העבודה העתידי בתחום הבינה המלאכותית.

המלצות

בעקבות שבע האסטרטגיות שתוארו לעיל, מסכמים כותבי הדו"ח בשתי המלצות מרכזיות.

ראשית, ממשלת ארצות הברית צריכה לפתח מסגרת חשיבתית ליישום מו"פ בבינה מלאכותית, לזיהוי הזדמנויות מדעיות וטכנולוגיות ולתמיכה בהכוונה יעילה של השקעות במו"פ בינה מלאכותית, לפי אסטרטגיות 1-6.

שנית, בהתאם לאסטרטגיה 7, יש צורך לחקור את שוק העבודה הלאומי על מנת ליצור ולקיים כוח עבודה בריא ומשגשג בתחום המו"פ של בינה מלאכותית.

» התכנית הסינית לפיתוח הדור הבא של הבינה המלאכותית

"התפתחות הבינה המלאכותית נכנסה לשלב חדש... תוצאות המחקרים במדעי המוח הניבו בינה דמוית-אדם שמחכה לפעולה; ... בינה מלאכותית הפכה למנוע החדש להתפתחות כלכלית. בינה מלאכותית הפכה לכוח המניע המרכזי עבור סיבוב חדש של טרנספורמציה תעשייתית, שתקדם את שחרור האנרגיה העצומה שנאצרה במהפכה המדעית והטכנולוגית האחרונה ובטרנספורמציה התעשייתית, ותיצור מנוע חדש ורב-עוצמה שיבנה-מחדש את הייצור, ההפצה, המסחר, הצריכה ועוד."

- מתוך התכנית הסינית לפיתוח הדור הבא של הבינה המלאכותית, 2017.

ביוני 2017 שחררה ממשלת סין את "התכנית לפיתוח הדור הבא של הבינה המלאכותית" – תכנית שמתארת את עמדת הממשלה הסינית בנוגע למו"פ בתחום הבינה המלאכותית, וקובעת מטרות מדויקות לשנת 2030. בעמודים הבאים נסקור את התכנית הלאומית הסינית, מטרותיה והכלים החברתיים והכלכליים שהיא מציינת כדרך להגשים את המטרות הללו. סקירה זו מתאפשרת בזכות עבודתם של חוקרי מכון New America, שתרגמו את התכנית הסינית לאנגלית (New America, 2017). לרוע המזל, התרגום משפה לשפה מקשה על ההבנה המלאה של התכנית, בנוסף לקושי האינהרנטי הנובע מהיותה תכנית כללית המכסה שפע של 'מילות מפתח' בבינה מלאכותית, אך אינה מרחיבה לגבי משמעותן המלאה.

התפישה הסינית לגבי בינה מלאכותית

ממשלת סין לוקחת ברצינות רבה את הבינה המלאכותית ואת השלכותיה עבור עתיד המדינה בכל התחומים. כפי שנכתב בתכנית – "בינה מלאכותית הפכה למנוע החדש להתפתחות כלכלית. בינה מלאכותית הפכה לכוח המניע המרכזי עבור סיבוב חדש של טרנספורמציה תעשייתית, שתקדם את שחרור האנרגיה העצומה שנאצרה במהפכה המדעית והטכנולוגית האחרונה ובטרנספורמציה התעשייתית, ותיצור מנוע חדש ורב-עוצמה שיבנה-מחדש את הייצור, ההפצה, המסחר, הצריכה ועוד."

כותבי התכנית מוסיפים כי – "אי-הוודאות בנוגע לפיתוח בינה מלאכותית יוצר אתגרים חדשים. בינה מלאכותית היא טכנולוגיה מערערת עם השפעות רחבות שעשויות להביא לשינוי של מבני ההעסקה, להשפיע על תיאוריות משפטיות וחברתיות, להפר את הפרטיות האישית, לאתגר את הנורמות והיחסים הבינלאומיים, ובעיות אחרות. יהיו לה השפעות מרחיקות-לכת על ניהול הממשלה, ביטחון כלכלי, יציבות חברתית וממשל גלובלי."

מטרתה של סין, לפיכך, היא "לתפוס באון את ההזדמנות ההיסטורית הגדולה לפיתוח בינה מלאכותית", ולהפוך למובילה העולמית בשוק החדשנות בתחום הבינה המלאכותית. היא מתכוונת לעשות זאת באמצעות הגשמת מספר עקרונות בסיסיים.

עקרונות הבסיס של התכנית הסינית

קיימים מספר עקרונות בסיסיים לתכנית הסינית, כדלקמן –

- א. **הובלה טכנולוגית:** סין מתכוונת להוביל את הדרך במו"פ טכנולוגי בתחום הבינה המלאכותית, ולהגיע לפריצות-דרך מערערות בתיאוריה, בשיטות העבודה והמחקר, בכלים ובמערכות הבינה המלאכותית.
- ב. **פיתוח מערכתי:** סין מתכוונת לרכז כוחות לקידום תכנון, פיתוח ויישום של פרויקטים ויצירת מאגר כשרונות מרשים בתחומי הבינה המלאכותית, ולשלב בין פרויקטים גדולים קיימים למשימות חדשות.
- ג. **השוק הוא הקובע:** חוקי השוק הם הקובעים עבור ממשלת סין. המטרה בתכנית היא להישאר ממוקדים ביישומים, ולסייע לחברות לקדם את הטכנולוגיות על מנת שיוכלו להציע מוצרים חדשים, להאיץ את מסחר טכנולוגיית הבינה המלאכותית וליצור ייתרון תחרותי עבור סין.
- ד. **פתיחות וקוד פתוח:** סין קוראת לקדם את קונספט הקוד הפתוח והשיתופיות באקדמיה, בתעשייה וביחידות המחקר והייצור

מטרות אסטרטגיות

ניתן לחלק את מטרותיה האסטרטגיות של סין לפי שנים, כדלקמן –

עד שנת 2020, סין מתכוונת להביא את רמת הטכנולוגיה והיישום של בינה מלאכותית לרמות מתקדמות בקנה מידה עולמי. סין מתכוונת להגיע להתקדמויות חשובות בביג דאטה, בינה חוצת-מדיומים, בינת נחיל, בינה היברידית מוגברת ומערכות בינה אוטונומיות.

עד שנת 2025, סין מתכננת להגיע לפריצות-דרך חשובות בתיאוריות בסיסיות בבינה מלאכותית, ולהפוך למובילה עולמית בתחומים טכנולוגיים וביישומים מסוימים. תעשיית הבינה המלאכותית הסינית תספק מוצרים בהם ייעשה שימוש נרחב בייצור נבון, רפואה נבונה, ערים נבונות, חקלאות נבונה, ביטחון לאומי ותחומים אחרים. סין תבסס רגולציות וחוקים ראשוניים לגבי בינה מלאכותית, כמו גם נורמות אתיות, מערכות מדיניות ויכולות הערכה של בטיחות הבינה המלאכותית ודרכי שליטה בה.

עד שנת 2030, סין תהפוך למובילה עולמית בתיאוריות, טכנולוגיות ויישומים בבינה מלאכותית, ותהיה מרכז החדשנות העולמי בתחום. הבינה המלאכותית תשולב בכל תחומי התעשייה, הביטחון, הממשל וחיי היום-יום של האזרח.

על מנת לממש מטרות אלו, כותבי התכנית מציעים להתמקד בשש מטלות-על.

מטלת-על ראשונה: בניית מערכות חדשנות פתוחות ומתואמות למדע וטכנולוגיית בינה מלאכותית

סין מתכננת להתמקד במטלת-על זו במספר תת-מטלות. הראשונה מתוכנן תהיה לבסס תיאוריה ראשונית לדור הבא של הבינה המלאכותית. לשם כך יש צורך –

- להגיע לפריצות-דרך בצווארי בקבוק בסיסיים בתיאוריות הקיימות בכל תחומי הבינה המלאכותית.
- למקד מאמצים בפיתוח המחקר התיאורטי בתחומי הבינה המלאכותית, ובמיוחד בכיוונים שיכולים להביא לשינוי תפישה בבינה מלאכותית, כלמידת מכונה ברמה גבוהה, מחשוב בהשראת המוח, מחשוב קוואנטי וכיוונים אחרים בינתחומיים.
- להשיק מחקר בינתחומי שיקדם את שילוב הבינה המלאכותית עם הנירולוגיה, מדעי הקוגניציה, מדעים קוואנטיים, פסיכולוגיה, מתמטיקה, כלכלה, סוציולוגיה ותחומים רלוונטיים אחרים. יש לחזק את המחקר התאורטי המתמטי שינחה את פיתוח האלגוריתמים והמודלים של הבינה המלאכותית. יש להתמקד במציאת תשובות לשאלות המשפטיות שמעלה הבינה המלאכותית, ובמקום בו אין קונצנזוס יש לעודד את המדענים לחקור בחופשיות, להראות תעוזה ולפתח תיאוריות ותגליות מקוריות יותר.

לפי התכנית הסינית, התיאוריות הבסיסיות בהן יש להתמקד כוללות את הבאות –

טבלה 7: תיאוריות בסיסיות בבינה מלאכותית לפי התכנית הלאומית הסינית מ-2017.

פירוט	התיאוריה הבסיסית
מחקר על בינה מלאכותית מבוססת-מידע וידע, תיאוריות ושיטות לפענוח שפה אנושית ולהבנת איורים וגרפים; פיתוח היגיון עמוק ובינה מלאכותית יצירתית עם יכולות לקבלת החלטות חכמה גם על בסיס מידע חסר, ועוד.	בינת ביג דאטה
מחקר על חישה ברמה על-אנושית, חישה ויזואלית ואודיטורית המכוונים לעולם הפיזי, הבנת שפה על מנת לאפשר אינטראקציה טבעית, חישת בני-אדם, למידה אוטונומית שתאפשר חישה חכמה של מדיומים שונים, וחישה בזירות עירוניות.	חישה ומחשוב בין-מדיומים
מחקר בהיברידיזציה והתכנסות למערכות המשאירות את האדם בתוכן. סימביוזה חכמה של אדם ומכונה ומוח-מכונה, עם מחשבים המסוגלים להבין היגיון אנושי ולכוון אליו. שילוב הבינה האנושית במטלות ניתוח מידע מורכבות ובתיאום עם שיטות מחשוב. הבנה לפי מצב של בני-האדם והמכונות בסביבות בעולם הפיזי.	בינה היברידית ומתוגברת
מחקר של התיאוריות הארגוניות והמבניות העומדות מאחורי בינת נחיל, מנגנונים לתמרוץ ולהפקת התנהגויות מורכבות, תיאוריות ושיטות למידה עבור בינת נחיל, ותפישות ומודלים נפוצים עבור בינת נחיל.	בינת נחיל

פירוט	התיאוריה הבסיסית
מחקר של תיאום חישה ואינטראקציה עבור מערכות אוטונומיות לא-מאוישות, כולל בקרה, שליטה וקבלת החלטות מיטבית עבורן, ופיתוח תיאוריות לתיאום בין מכונות, בני-אדם ועצמים ואינטראפרביליות בין כולם.	תיאום ושליטה אוטונומיים וקבלת החלטות מיטבית
מחקר בתיאוריות למידה סטטיסטיות בסיסיות, הסקת מסקנות וקבלת החלטות בתנאי אי-ודאות, למידה ואינטראקציה מבוזרות, למידה תוך כדי שמירה על פרטיות, למידה ממדגם קטן, למידה עמוקה אינטנסיבית, למידה לא-מפוקחת, למידה מפוקחת-למחצה, למידה פעילה ותיאוריות ומודלים אחרים ללמידה.	למידת מכונה ברמה-גבוהה
מחקר בתיאוריות ושיטות לחישה, למידה, זיכרון ומחשוב בהשראת המוח, כמו גם מערכות מורכבות ובקרה בהשראת המוח.	בינה ומחשוב בהשראת המוח
מחקר במודלים ומכניזמים קוואנטיים קוגניטיביים, מודלים ואלגוריתמים קוואנטיים יעילים, מעבדים קוואנטיים לבינה מלאכותית בעלי ביצועים גבוהים, מערכות בינה מלאכותית קוואנטיות המסוגלות להחליף מידע עם העולם החיצון בזמן אמת, ועוד.	בינה קוואנטית

תת-המטלה השנייה היא לבנות מערכות טכנולוגיות של בינה מלאכותית מהדור הבא. האלגוריתמים צריכים להיות בליבת מאמצי המו"פ והיישום, והמידע והחומרה צריכים להוות את הבסיס. מערכות אלו צריכות לשפר את היכולות הקיימות בחישה וזיהוי, מחשוב ידע, הסקת מסקנות קוגניטיבית, שליטה בתנועה וממשקי אדם-מכונה.

תת-המטלה השלישית היא לתאם את הקמתן של פלטפורמות ומערכות לחדשנות בתחום הבינה המלאכותית. לשם כך יש לחזק את התמיכה ביסודות המו"פ בבינה מלאכותית, ולקדם עקרונות מחשוב משותפים ושיתוף מידע בין מערכות תוכנה, חומרה וענן. יש לתמוך בפיתוח פלטפורמות שיאפשרו למערכות אוטונומיות לפתח מודעות סביבתית ולהגיע לקבלת החלטות מושכלת. יש ליצור סביבות פיתוח ומבחן עבור מערכות אוטונומיות פתוחות ומודולריות הניתנות לתכנות ולהתאמה לפי הצורך. יש לעודד שיתופיות בין המגזר הצבאי והאזרחי, ולקדם שימוש משותף בפלטפורמות שונות.

תת-המטלה הרביעית היא לקדם את אימון ואיסוף הכשרונות האנושיים ברמה הגבוהה ביותר בתחום הבינה המלאכותית. כותבי התכנית מאמינים כי איסוף מומחים אנושיים בתחום הבינה המלאכותית הוא האתגר החשוב ביותר במו"פ בתחום זה. יש לשפר את מערכת החינוך בתחום הבינה המלאכותית ולחזק את יכולתן של התעשייה והאקדמיה לצרף אליהן מומחים מתאימים. יש ליצור תחום אקדמי של בינה מלאכותית שיקנה תארים בבינה מלאכותית, ולהקים מכוני בינה מלאכותית מוקדם ככל האפשר.

מטלת-על שנייה: טיפוח כלכלה חכמה, טכנולוגית ויעילה-ביותר

מטרתה של סין היא להאיץ את טיפוח תעשיית הבינה המלאכותית באמצעות תמרוץ האיחוד בין בינה מלאכותית ותחומים תעשייתיים, ויצירת דרכי פעולה כלכליות חכמות ומנוחות-מידע שיאפשרו יצירה ושיתוף בחברה. המידע והידע יהפכו לגורמים הראשונים לצמיחה כלכלית, תיאום אדם-מכונה יהפוך לשיטה המקובלת לייצור ולשירות, תחומים שונים יתאחדו ביחד ליצירת מודלים כלכליים חדשים, ושיתוף ויצירה הדדיים יהפכו למרכיבים הבסיסיים בעולם הכלכלי החדש, לצד ייצור אישי שיתאים לצרכי כל לקוח. כל אלו יובילו להגדלה משמעותית בפריון (פרודוקטיביות), ידחפו תעשיות להתמקד בתחומים עם פוטנציאל רווח גדול, ויתמכו בפיתוח כלכלה מתקדמת ובריא.

תת-המטלה הראשונה הנדרשת לשם כך היא לדחוף לפיתוח תעשיות בינה מלאכותית חדשות. לשם כך יש לתמרץ לאינטגרציה של טכנולוגיות מבטיחות בתעשייה, לקדם חדשנות של מוצרים חכמים בתחומים נבחרים, לטפח מודלים חדשים לעסקים המשלבים בינה מלאכותית, לבנות רשתות תעשייה מתקדמות ולעודד הקמת קבוצות תעשייה תחרותיות בתחום הבינה המלאכותית. התכנית כוללת התייחסות למגוון רחב של טכנולוגיות חכמות שיש לקדם, כגון רובוטים חכמים, כלי שינוע ומשלוח חכמים, מכשירי-קצה חכמים, תוכנה וחומרה חכמות, מציאות מדומה ורבודה והאינטרנט של הדברים.

תת-המטלה השנייה היא להאיץ ולקדם את שילוב הטכנולוגיות החכמות בתעשייה. לשם כך יש להניע שימושים, הדגמות ומבדקים בתחום הבינה המלאכותית בסקטורים נבחרים כייצור, חקלאות, לוגיסטיקה, פיננסים, מסחר, מוצרים לבתים ועוד. יש לדחוף להרחבת השימוש בבינה המלאכותית ככל האפשר.

תת-המטלה השלישית היא לדחוף לפיתוח מפעלים חכמים. יש להתרכז במעבר לפסי ייצור חכמים המחוברים לענן וזה לזה, ומתואמים עם בני-האדם האחראים עליהם. יש לעודד ולהכווין מפעלים לבניית מערכות ביג דאטה עבור המפעלים, לחבר את המתקנים לרשת, להגביר את שקיפותם של תהליכי הייצור ולהקל על העובדים להבין אותם. יש להעביר את אתרי הייצור אוטומציה ככל האפשר – וכמובן, לשפר גם את יכולותיהם הניהוליות של העובדים האנושיים, שייצטרכו להיות אחראים על המכונות.

תת-המטלה הרביעית היא ליצור ריכוזי חדשנות בתחום הבינה המלאכותית, באמצעות ריכוז מפעלים, מומחים ושחקנים בתעשייה ובאקדמיה באזורים נבחרים. בריכוזי החדשנות הללו ניתן יהיה לבחון תכניות מו"פ, מדיניות ורגולציה וקידום מומחיות בתחומים הנבחרים.

מטלת-על שלישית: בניית חברה חכמה בטוחה ונוחה

המטרה הסופית היא לשפר את רמת החיים ותנאי המחיה של תושבי סין. לשם כך יש להאיץ ולהעמיק את יישומי הבינה המלאכותית ולהגביר את רמת ההטמעה של הבינה המלאכותית בכל החברה על מנת ליצור סביבה חכמה אופפת-כל. מטלות מסוכנות או רוטיניות יעברו יותר ויותר לבינה המלאכותית, בעוד שיצירות אישיות תיוותר לבני-האדם. תהיה עלייה במספר העבודות האנושיות והנוחות יותר. שירותים מדויקים וחכמים יהפכו למגוונים יותר, כדי שהאנשים יוכלו ליהנות ממיטב השירותים הנוחים והיעילים. בנוסף, הטמעת הבינה המלאכותית בממשל תהפוך את החברה הסינית לבטוחה ויעילה יותר.

תת-המטלה הראשונה היא פיתוח שירותים חכמים נוחים ויעילים. לשם כך יש להאיץ את יישום הבינה המלאכותית בחינוך, בבריאות, בפנסיה ובתחומים אחרים הנוגעים בצרכים הדחופים של האזרחים. שירותי הבינה המלאכותית יספקו לציבור שירותים מגוונים ואישיים ברמה גבוהה.

תת-המטלה השנייה היא קידום הטמעת הבינה המלאכותית בממשל החברתי. בינה מלאכותית צריכה לקחת חלק במנהל התקין, במערכת המשפט, בניהול הערים, בהגנה על הסביבה ובתחומים אחרים בממשל החברתי. הבינה המלאכותית תהווה את הבסיס לערים החכמות ולמערכות התחבורה החכמות.

תת-המטלה השלישית היא שימוש בבינה המלאכותית להגברת בטיחות הציבור ויכולותיהם של שירותי הביטחון. לשם כך יש להטמיע בינה מלאכותית במערכות בקרה והתראה מוקדמת, לחקור ולפתח יכולות חישה מתקדמות ועיבוד ראייה ומידע מהעולם הפיזי, והטמעת התוצרים במערכות משטרתיות. יש לבסס פלטפורמות ניטור חכמות לניהול הקהילה ולחקירת פשיעה ומניעת טרור. במקביל, יש להגביר את השימוש בבינה מלאכותית לשיפור בטיחות ותיג המזון, לחיזוי אסונות טבעיים מסוגים שונים.

תת-המטלה הרביעית היא קידום אינטראקציה חברתית ואמון הדדי. על מנת לממשה יש צורך לקדם את תפקיד הבינה המלאכותית בשיפור האינטראקציות החברתיות ובקידום תקשורת אמينة. יש לחזק את הדור הבא של מו"פ הרשתות החברתיות ולהאיץ פיתוח בתחומי המציאות המדומה והרבודה. יש לקדם את האינטגרציה של טכנולוגיות בלוקצ'יין עם בינה מלאכותית ולבסס מערכת אשראי חברתי חדשה.

מטלת-על רביעית: חיזוק האינטגרציה בין המגזר הצבאי והאזרחי בתחומי הבינה המלאכותית

במסגרת מטלת-על זו מתחייבת ממשלת סין להעמיק את האינטגרציה בין המגזר הצבאי והאזרחי בתחומי הבינה המלאכותית, לבסס מנגנונים לנרמול תקשורת ותיאום בין מוסדות מחקר מדעיים, אוניברסיטאות, מפעלים ויחידות צבאיות ולקדם את השימוש הצבאי בבינה מלאכותית לתמיכה בקבלת החלטות צבאיות ויישומים צבאיים נוספים. מצד שני, טכנולוגיות בינה מלאכותית לצרכי הגנה יופנו גם לשימוש בידי האזרחים.

מטלת-על חמישית: בניית מערכת תשתית נבונה, יעילה ובטוחה

ממשלת סין תקדם בנייתה של תשתית מידע חכמה, ותבסס עליה ליצירת כלכלה חכמה, חברה חכמה ומערכת ביטחון חכמה. התשתית תאפשר העברה מהירה של מידע, אחסון מידע, מחשוב, עיבוד מידע ומודעות למתרחש. התשתית החדשה תאפשר להגיע לדור החמישי של תקשורת סולרית (5G), ותתמוך באינטרנט של הדברים. התשתית החדשה תאפשר חיבור למרכזי חישוב-על למטרות שימוש בבינה מלאכותית, ותתמוך גם בחיבור לרשת האינטרנט של האנרגיה, עם התממשקות מול תחנות כוח חשמליות והתקנים חכמים לאחסון אנרגיה. לצד כל זאת, התשתית תחזק את אבטחת המידע ותספק הגנה על הפרטיות.

מטלת-על שישית: תכנון דור חדש של פרויקטי מדע וטכנולוגיה חשובים בתחום הבינה המלאכותית

על מנת לפתח את צרכי הבינה המלאכותית הסיניים ולהתמודד עם חוליות חלשות בשרשרת, יש צורך לבסס דור חדש של פרויקטי מדע וטכנולוגיה גדולים בתחום הבינה המלאכותית. פרויקטים אלו עשויים לכלול –

- מחקר בינה מלאכותית המתבססת על ביג דאטה;
- חישה ומחשוב בין מדיומים שונים;
- בינה היברידית מתוגברת;
- בינה קבוצתית;
- שליטה אוטונומית שיתופית;
- תיאוריות בקבלת החלטות;
- מנועים לחישוב ידע וטכנולוגיות למתן שירות בתחומי ידע;
- טכנולוגיות לאנליזה והסקת מסקנות בין מדיומים שונים;
- טכנולוגיות מפתח לבינת נחיל;
- ארכיטקטורות חדשות וטכנולוגיות חדשות לבינה היברידית מתוגברת;
- טכנולוגיות שליטה אוטונומית לא-מאוישת;
- תיאוריה בסיסית לבינה מלאכותית משותפת בקוד-פתוח;

כל הנושאים הללו יכולים להוות את הבסיס לפרויקטי-על שתוביל סין, אך הממשלה מתכוונת לקדם גם את יישומם ופריסתם במהירות בתעשייה, באקדמיה, בצבא ובממשל. במטלת-העל מונח דגש גדול על הפריסה המהירה של תוצאות הפרויקטים.

ההוצאה לפועל של התכנית

על מנת להוציא לפועל את התכנית השאפתנית, מתכננת ממשלת סין לרכז מאמצים בשישה נתיבים, כדלקמן –

- א. **פיתוח חוקים, רגולציות ונורמות אתיות שיקדמו את פיתוח הבינה המלאכותית:** סין תחזק את המחקר בסוגיות המשפטיות, האתיות והחברתיות הקשורות לבינה המלאכותית ותקבע חוקים, תקנות ומסגרות אתיות על מנת לוודא "פיתוח בריא" של בינה מלאכותית.
- ב. **שיפור פריטי מדיניות מרכזית לתמיכה בפיתוח בינה מלאכותית:** הממשלה תעודד פיתוח בינה מלאכותית בתעשייה באמצעות תמריצי מס, כיסוי עלויות מו"פ ופריטי מדיניות אחרים.
- ג. **קביעת סטנדרטים טכנולוגיים ומערכת זכויות יוצרים לבינה המלאכותית:** סין תסייע לקביעת סטנדרטים טכנולוגיים לבינה המלאכותית, שיקדמו את עקרונות הבטיחות, הזמינות, הקישוריות והשקיפות.
- ד. **ביסוס מערכת לפיקוח והערכת בטיחות הבינה המלאכותית:** סין תחזק את המחקר והערכה בנוגע להשפעת הבינה המלאכותית על הביטחון הלאומי ושמירה על פרטיות.
- ה. **חיזוק הכשרת כוח העבודה בתחום הבינה המלאכותית:** סין תחקור באינטנסיביות את שינויי התעסוקה שהבינה המלאכותית תוביל אליהם ואת המיומנויות שיידרשו המקצועות החדשים. הממשלה תתמוך בפיתוח מערכת הכשרת עובדים ולמידה לאורך-החיים שתענה על צרכי התעשייה החדשה, בשיתוף פעולה בין האוניברסיטאות והתעשייה.
- ו. **מימוש מגוון רחב של פעילויות מדעיות בתחום הבינה המלאכותית:** הממשלה תתמוך במגוון רחב של פעילויות מדעיות בתחום הבינה המלאכותית, שיקדמו את הפופולריות של התחום בקרב הציבור הרחב ויעודדו עובדים טכנולוגיים ומדעיים רבים להצטרף אליו.

» התכנית הלאומית הסינגפורית לבנינה מלאכותית

במאי 2017 הודיעה ממשלת סינגפור על פתיחת "התכנית הלאומית לזירוז, הנעה לסינרגיה וקידום יכולות הבינה המלאכותית של סינגפור", או בקיצור AI.SG. לרוע המזל, סינגפור לא שחררה מתווה מפורט של התכנית, כך שהמידע אודות התכנית מגיע רק מתוך הידיעה ששחררה לעיתונות בנושא. לפי אותה ידיעה, יש לממשלת סינגפור שלוש מטרות מרכזיות בפתיחת התכנית –

- א. **לעשות שימוש בבינה מלאכותית על מנת להתמודד עם אתגרים גדולים שמשפיעים על החברה והתעשייה.** דוגמאות כוללות את השימוש בבינה מלאכותית לצמצום עומס הפקקים, או להתמודדות עם אתגרים בריאותיים שממשיכים לגדול עם הזדקנות האוכלוסייה.
 - ב. **להשקיע ביכולות עמוקות במטרה לתפוס את הגל הבא של חדשנות מדעית.** הגל הבא עשוי לכלול מערכות בינה מלאכותית המסוגלות להסביר עצמן ומפגינות יכולות למידה על-אנושיות, כמו גם טכנולוגיות מקבילות כארכיטקטורות מחשוב ומדעים קוגניטיביים. מוסד המחקר הלאומי (National Research Foundation – NRF) של סינגפור התחייב לתמוך בפעילויות מדעיות בתחומים אלו באמצעות מלגות ותכניות מחקר שונות. ייעשה מאמץ להכשיר גם כשרונות מקומיים בתחומי הבינה המלאכותית המתקדמים ביותר.
 - ג. **להרחיב את האימוץ והשימוש בבינה מלאכותית ולמידת מכונה בתעשייה.** התכנית הלאומית תעודד חברות להשתמש בבינה מלאכותית על מנת לשפר את הפריון (פרודוקטיביות), ליצור מוצרים חדשים ולתרגם ולמסחר פתרונות מהמעבדות לשוק. המטרה היא ליצור מאה פרויקטי בינה מלאכותית והוכחות היתכנות שיוכלו לפתור בעיות ממשיות עבור משתמשי הקצה. סינגפור רואה פוטנציאל גדול במיוחד במגזרי הפיננסים, הבריאות וניהול העיר, ומתכוונת להתמקד קודם כל בתחומים אלו.
- מוסד המחקר הלאומי של סינגפור עתיד להשקיע 150 מיליון דולרים בתכנית הלאומית בחמש השנים הקרובות. הכוונה היא לשלב את יכולות הבינה המלאכותית המרשימות בתעשייה עם האקדמיה, ואפילו לקרב 'חובבנים' לתחום באמצעות אירועי נטוורקינג והאקטונים במהלכם יפותחו מוצרי בינה מלאכותית ראשוניים שיתמודדו עם אתגרים בעולם האמיתי. במסגרת התכנית תטופח קהילה מקומית של יוצרים והוגים בתחום הבינה המלאכותית באמצעות הקמת סביבת "makerspace" (מעבדת יצירה) עם משאבים ותשתיות המשותפים לכלל ואמורים לקדם את האינטראקציה החברתית, שיתוף הפעולה והאימוץ ההדדי של טכנולוגיות חדישות. בתשתיות אלו ניתן יהיה להשתמש בכלי תוכנה תחת רישיון קוד פתוח, מאגרי מידע אנונימיים וכלי מחשוב ברמה עולמית להרצת בינות מלאכותיות. התכנית גם תקדם את השימוש במידע ללימוד בינה מלאכותית, ואת השימוש בבינה מלאכותית על מנת להפיק תובנות אוטומטיות ומעמיקות יותר מתוך המידע הקיים.

» המלצות לתכנית לאומית בריטית

בשנת 2017 פרסמו שני חוקרים בריטיים סקירה אודות עתיד הבינה המלאכותית, עם התייחסות ספציפית לתעשיות השונות בבריטניה, כמו גם לצעדים המומלצים עבור התעשייה, האקדמיה והממשלה. למטרות כתיבת הסקירה הסתמכו החוקרים על ידע שנאסף בסדרה של סדנאות ופגישות בהן השתתפו יותר ממאה מומחים מהאקדמיה, מהתעשייה ומהממשלה. על אף שהסקירה מוגדרת כ-"עצמאית", נראה כי הוזמנה על-ידי המחלקה לדיגיטל, תרבות, מדיה וספורט והמחלקה לעסקים, אנרגיה ואסטרטגיה תעשייתית בממשלת אנגליה, והשתחררה כחלק מהפרסומים הרשמיים של הממשלה.

הסקירה מכסה את עשר השנים הקרובות – כלומר, כמעט עד שנת 2030 (Wendy Hall, 2017). היא מדגישה את חשיבות הבינה המלאכותית לעתיד התעשייה והכלכלה הבריטיות, ואת הצורך הדחוף להוביל בתחום זה. על מנת לתפוס מקום מוביל בעולם הבינה המלאכותית, מציעים כותבי הסקירה 18 המלצות בארבעה תחומים שונים.

המלצות לשיפור הגישה למידע

כותבי הדו"ח מזהים כי קיים צורך בגישה למאגרי מידע חדשים וקיימים, על מנת לאמן, לפתח ולהטמיע שימוש בבינות מלאכותיות. על מנת לשפר את הגישה למידע, הם ממליצים על –

1. **הקמת מאגרי אמון של מידע:** על מנת לקדם את שיתוף המידע בין ארגונים האוגרים מידע לבין ארגונים השואפים להשתמש במידע לפיתוח בינה מלאכותית, הממשלה והתעשייה צריכות לפתוח תכנית לפיתוח

"מאגרי אמון של מידע" - מסגרות חוזיות וטכנולוגיות מוכחות ואמינות, שיוודאו שהשימוש במידע בטוח ומביא תועלת לכל הצדדים.

2. **פתיחת המידע הנאסף במחקר במימון ממשלתי:** לשיפור זמינות המידע לפיתוח מערכות בינה מלאכותית, הממשלה צריכה לוודא שהמימון הציבורי למחקר מביא לפרסום המידע שנאסף במחקר בפורמט המתאים ל-'קריאת מכונה' ועם הצהרה ברורה על הזכויות לשימוש במידע – עם העדפה לשימוש פתוח ככל האפשר.
3. **כינון הזכות לכרות מידע:** על מנת לתמוך בכריית טקסט ומידע ככלי סטנדרטי וחשוב למטרות מחקר, בריטניה צריכה לקבוע כברירת מחדל שהזכות לקרוא מחקרים מובילה בהכרח גם לזכות לכרות מידע. כאשר הממשלה שוקלת כיצד לתמוך בכריית מידע וטקסט, היא צריכה להתחשב בשימושים האפשריים של המידע למטרות אימון בינה מלאכותית.

המלצות לשיפור מאגר הכישורים

הכותבים מזיהים כי הדרישה העיקרית לעובדים בתחום הבינה המלאכותית תתמקד בבעלי הכשרה גבוהה בתחום. עם זאת, הם מבינים כי מדובר בתהליך הכשרה הדרגתי שלא ניתן לקפוץ אליו מיד. לכן הם מציעים יישום של מספר צעדים בשנים הקרובות, שיסייעו לתמוך בשוק העבודה של הבינה המלאכותית גם בעתיד הרחוק יותר.

1. **עידוד למגוון:** הממשלה, התעשייה והאקדמיה חייבות להבין את חשיבות הגיוון בשוק העבודה בתחום הבינה המלאכותית, וצריכות לערער על הסטראוטיפים הקיימים ולהרחיב את ההשתתפות בתחום מצד בני כל המגדרים והמגזרים.
2. **תמיכה בקורסים לתואר שני בבינה מלאכותית:** התעשייה צריכה לסבסד תכנית שתאפשר לסטודנטים ללמוד קורסים לתואר שני בתחום הבינה המלאכותית.
3. **בחינת הביקוש לתואר שני בבינה מלאכותית:** אוניברסיטאות צריכות לבחון ביחד עם מעסיקים ועם סטודנטים את הביקוש הפוטנציאלי לפתיחת מסלול לתואר שני בבינה מלאכותית, שיעסוק נושאים נוספים מלבד מחשוב ומדעי המידע.
4. **עידוד לדוקטורט בתחומי הבינה המלאכותית:** הממשלה והאוניברסיטאות צריכות לפתוח לפחות 200 מלגות לדוקטורנטים בתחומי הבינה המלאכותית באוניברסיטאות המובילות. ככל שבריטניה תמשיך לאמן ותמשיך כשרונות אקדמיים נוספים, כך צריך מספר הדוקטורנטים בבינה המלאכותית לגדול מדי שנה.
5. **פיתוח קורסים מקוונים:** אוניברסיטאות צריכות לעודד פיתוח של קורסים פתוחים מקוונים מרובי משתתפים (MOOCs) וקורסי פיתוח מקצועי שיאפשרו לאנשים בעלי ידע מקצועי במדע וטכנולוגיה לרכוש ידע ממוקד יותר בתחום הבינה המלאכותית.
6. **פיתוח תכנית מלגות בינלאומית בתחום הבינה המלאכותית:** הכותבים ממליצים על פתיחת תכנית מלגות בינלאומית בתחום הבינה המלאכותית ביחד עם מוסד אלן טורינג. התכנית תיפתח לכל המומחים הראויים מסביב לעולם, ותיתמך על-ידי קרן שתסייע לזהות ולגייס את הכשרונות המובילים בעולם.

המלצות לקידום המחקר הבריטי בתחום הבינה המלאכותית

לא ניתן לדבר על קידום תחום הבינה המלאכותית מבלי להתייחס לחשיבות הגדולה של המחקר האקדמי הבסיסי והיישומי. מסיבה זו, הכותבים ממליצים על –

1. **הקמת מכון מחקר לאומי בתחום הבינה המלאכותית:** הכותבים מדברנים את הממשלה להפוך את אחד ממכוני המחקר (מכון אלן טורינג) למכון הלאומי בתחום הבינה המלאכותית ומדעי המידע, עם הצהרת משימה שתמקד אותו בבינה המלאכותית.
2. **הקלה על תרגום ידע אקדמי לתעשייה:** אוניברסיטאות צריכות להשתמש בכלי מדיניות ונהלים פשוטים וברורים שיסייעו לתרגם את הידע האקדמי להקמת חברות ולפיתוחים טכנולוגיים.
3. **תיאום בכוח המחשוב למטרות מחקר בינה מלאכותית:** מכוני המחקר בבריטניה צריכים לפעול ביחד ולתאם את השימוש בכוח המחשוב המשותף למטרות מחקר בינה מלאכותית.

המלצות לתמיכה בשימוש בבינה מלאכותית

על מנת לאפשר לתעשייה ליהנות מהשפעה שהבינה המלאכותית יכולה לספק, יש צורך לפתח ולהטמיע פתרונות טכנולוגיים במגוון רחב של יישומים ושימושים. על מנת להגיע לפריסה רחבה זו של הטכנולוגיה, הכותבים ממליצים על –

1. **הקמת מועצת בינה מלאכותית לאומית:** הממשלה והתעשייה צריכות לפעול ביחד להקמת מועצת בינה מלאכותית בריטית שתסייע לתאם בין המאמצים השונים ולקדם את תחום הבינה המלאכותית במדינה.
2. **יצירת מסגרת חשיבה מעשית:** ממשלת בריטניה, בסיוע האקדמיה, צריכה לפתח מסגרת חשיבה שתאפשר להסביר את התהליכים, השירותים וההחלטות שמספקת הבינה המלאכותית, על מנת לשפר את השקיפות והאחריות בתחום.
3. **תמיכה בעסקים בתחום הבינה המלאכותית:** המחלקה האמונה על מסחר בינלאומי בבריטניה צריכה להרחיב את תמיכתה בעסקים בתחום הבינה המלאכותית.
4. **פיתוח מדריך מעשי להזדמנויות ואתגרים:** התעשייה והממשלה צריכות לפעול ביחד לפיתוח מדריך מעשי על ההזדמנויות והאתגרים הקשורים באימוץ מוצלח של הבינה המלאכותית בכל תחומי הכלכלה הבריטית.
5. **פיתוח תכנית למגזר הציבורי:** הממשלה צריכה לפתח תכנית שתכין את המגזר הציבורי לשימוש בבינה מלאכותית, במטרה לשפר את תפקוד הממשלה ושירותיה לאזרח.
6. **פתיחת תכניות תמיכה ממשלתיות ליזמויות בינה מלאכותית:** ממשלת בריטניה צריכה לוודא שתכניות תמיכה ממשלתיות, במיוחד עבור עסקים קטנים, מתוכננות כך שיתאימו ליזמים בתחום הבינה המלאכותית ויתמכו בהם. חשוב לפתוח גם אתגרים ממומנים המסמכים על מידע מהמגזר הציבורי לאימון בינה מלאכותית.

» התכנית האסטרטגית של איחוד האמירויות הערביות

בסוף 2017 פתח איחוד האמירויות הערביות בתכנית אסטרטגית לבינה מלאכותית (UAE Strategy for Artificial Intelligence). התכנית היא חלק מתכנית UAE Centennial 2071 הרחבה יותר, המנסה להכין את איחוד האמירויות לחמישים השנים הקרובות (UAE, 2017). שתי התכניות נמצאות כיום בשלבי בנייה והרחבה, ולא ניתן למצוא מידע מקיף הזמין לציבור הרחב. עם זאת, נראה שמטרות התכנית האסטרטגית לבינה מלאכותית הינן –

- א. להשיג את מטרות תכנית UAE Centennial 2071;
 - ב. להגביר את תפקוד הממשלה בכל הדרגים;
 - ג. להשתמש במערכת דיגיטלית משולבת חכמה שיכולה להתגבר על אתגרים ולספק פתרונות מהירים ויעילים;
 - ד. להפוך את איחוד האמירויות למוביל בתחום ההשקעות בבינה מלאכותית בסקטורים השונים;
 - ה. ליצור שוק חדש ושוקק-חיים בעל ערך כלכלי גבוה.
- התכנית האסטרטגית תתמקד בסקטורים הבאים (הפרטים מופיעים באתר ממשלת איחוד האמירויות, בקצרנות רבה ובחזרתיות לגבי פריטים מסוימים, כגון תחבורה ותנועה בכבישים) –
- א. תחבורה: במטרה למזער שכיחות תאונות ולצמצם עלויות תפעוליות;
 - ב. בריאות: למזער שכיחותן והשפעתן של מחלות כרוניות ומסוכנות;
 - ג. חלל: לעזור בביצוע ניסויים מדויקים, להקטין שכיחות טעויות יקרות;
 - ד. אנרגיה מתחדשת: לנהל תשתיות ומפעלים;

- ה. מים: לערוך אנליזה ומחקרים לאספקת מקורות מים;
- ו. טכנולוגיה: להגביר פרודוקטיביות (פריון) ולסייע בהוצאה הכללית;
- ז. חינוך: לצמצם עלויות ולהגביר את התשוקה לחינוך;
- ח. סביבה: להגביר את קצב הייעור;
- ט. תנועה בכבישים: להקטין שכיחות תאונות ופקקים ולהתוות מדיניות תחבורה יעילה יותר.
- על מנת לתמוך בסקטורים הללו, כוללת התכנית האסטרטגית חמישה נתיבי פעולה מרכזיים:
- הקמת מועצת הבינה המלאכותית של איחוד האמירויות
 - סדנאות, תכניות ויוזמות במשותף עם גופי הממשלה
 - פיתוח יכולות ומיומנויות של אנשי ממשל העוסקים בתחום הטכנולוגיה, וארגון קורסים לאנשי הממשל
 - מתן שירותים מלא באמצעות בינה מלאכותית ושילוב מלא של בינה מלאכותית בשירותי הרפואה והביטחון
 - השקת תכנית הנהגה וכינון חוק ממשלתי בנוגע לשימוש בטוח בבינה מלאכותית

» התכנית האסטרטגית הפאן-קנדית לבינה מלאכותית

התכנית האסטרטגית הפאן-קנדית לבינה מלאכותית הוכרזה לראשונה בתחילת 2017, ונכנסה מאז לתקציב הממשלתי בהוצאה של 125 מיליון דולרים. את התכנית מוביל המכון הקנדי למחקר מתקדם (CIFAR), בתקציב ממשלתי שנתי של 25 מיליון דולרים.

התכנית האסטרטגית כוללת ארבע מטרות מרכזיות (CIFAR, 2017):

- א. להגדיל את מספר החוקרים המצוינים וסטודנטים לתארים מתקדמים מוכשרים בקנדה.
 - ב. לבסס מרכזים מקושרים של מצוינות מדעית בשלושת מרכזי המו"פ הקנדיים בתחום הבינה המלאכותית.
 - ג. להפוך למובילים עולמיים בחשיבה על ההשלכות הכלכליות, האתיות, המשפטיות והמדיניות של התפתחויות בבינה מלאכותית.
 - ד. לתמוך בקהילת מחקר לאומית בתחום הבינה המלאכותית.
- בחמש השנים הקרובות מתכוון CIFAR להגיע לתוצאות בחמישה תחומים –
- א. לחזק את הפרופיל הבינלאומי של קנדה במחקר והכשרה בתחום הבינה המלאכותית;
 - ב. להפיק מחקר וחדשנות ברמה עולמית, על מנת להגדיל את הפרודוקטיביות והתוצרים במחקר אקדמי בתחום הבינה המלאכותית;
 - ג. לשפר את שיתוף הפעולה בין אזורי מצוינות גאוגרפיים בתחום מחקר הבינה המלאכותית, ולחזק מערכות יחסים עם הישויות המשתמשות בתוצרי החדשנות;
 - ד. למשוך לאורך-זמן כשרונות יוצאי-דופן בתחום הבינה המלאכותית לאקדמיה ולתעשייה הקנדית;
 - ה. לתרגם תגליות במחקר בבינה מלאכותית לשימוש מעשי במגזר הפרטי ובמגזר הציבורי, על מנת להוביל ליתרונות סוציו-אקונומיים לקנדה.

על מנת להגיע לתוצאות הללו, מוגדרים בתכנית מספר צעדים אופרטיביים, כדלקמן –

- א. **הקמת מכוני מחקר בתחום הבינה המלאכותית:** הממשלה תממן הקמת שלושה מכוני מחקר בתחום הבינה המלאכותית, באזורים בקנדה בהם מתמקד עיקר המחקר בלמידת מכונה כיום. מכוני המחקר יספקו מסה קריטית של מצוינות במחקר ובחדשנות ויעבדו עם חוקרים באקדמיה ובתעשייה בקנדה.

- ב. **מימון משרות מחקר:** הממשלה וארגונים קנדיים יממנו משרות מחקר לפרופסורים במכוני המחקר בתחום הבינה המלאכותית. משרות אלו יסייעו לקנדה לגייס חוקרים אקדמיים ברמה הגבוהה ביותר ולשמור עליהם. חוקרים אלו יגייסו ויכשירו סטודנטים בתחום ויעבדו גם מול התעשייה.
- ג. **הקמת קבוצות-עבודה מוכוונות-מדיניות:** הממשלה תממן הקמת קבוצות-עבודה שיבחנו את השלכות הבינה המלאכותית על הכלכלה, הממשלה והחברה, ויפרסמו את תוצאות מחקריהם על מנת ליידע את הציבור ואת קובעי-המדיניות בנושאים אלו.
- ד. **מפגשים שנתיים:** במסגרת התכנית ייערכו מפגשי קיץ וחורף בתחום הבינה המלאכותית, ותסופק תמיכה בפעילויות לאומיות, כגון מפגש שנתי של החוקרים בתחום הבינה המלאכותית. במהלך המפגשים יבדק המצב העדכני של קנדה בתחום הבינה המלאכותית, על מנת לוודא שהמדינה ממשיכה בכיוון הנכון.

» התכנית האסטרטגית היפנית

בשנת 2016 הקימה ממשלת יפן את "המועצה האסטרטגית לטכנולוגיית בינה מלאכותית", המקדמת מו"פ בתחום הבינה המלאכותית מתאמת את תרגום תוצרי המחקר למוצרים ולשירותים בתעשייה, ומקדמת את היישום החברתי של טכנולוגיות בינה מלאכותית. המועצה מתאמת בין שלושה מרכזי מחקר מובילים הממוקמים באוניברסיטאות ובמכוני מחקר ביפן: המרכז למידע ורשתות עצביות, המרכז לפרויקט בינה מלאכותית מתקדמת והמרכז לחקר בינה מלאכותית. בנוסף, משרדים ממשלתיים שנהנים מבעלות על מידע גדול ומסוגלים לתרגמו למוצרים תעשייתיים, מתכננים גם הם פרויקטים שיעשו שימוש בבינה מלאכותית.

התכנית האסטרטגית קובעת ארבעה אזורי קדימות בהם יש צורך למקד את מאמצי ההטמעה של בינה מלאכותית. אלו הם –

- א. **פרודוקטיביות:** תחום זה כולל את האופטימיזציה של מערכות הייצור באמצעות אוטומציה נרחבת, אופטימיזציה ושיפור היעילות של תעשיות השירותים, וחיבור בין הצרכים לשירותים ולמוצרים המוצעים. בדרך זו תבוצע אינטגרציה מושלמת של ייצור, שינוע ומתן שירותים עבור מוצרים שונים כאנרגיה ומזון. אינטגרציה זו תוביל לשיפור בפרודוקטיביות בחברה כולה. בנוסף, תחום הפרודוקטיביות כולל גם הגברת היצירתיות והחדשנות, על מנת לקדם פיתוח שירותים ומוצרים חדשניים כל העת.
- ב. **בריאות, טיפול רפואי ורווחה:** יפן מתכוונת להפוך למובילה עולמית בטכנולוגיות בריאות ורווחה באמצעות שימוש במידע הגדול ביחד עם בינה מלאכותית. עד שנת 2030, ארבעים אחוזים מאוכלוסיית יפן כבר יעברו בגילם את העשור השישי לחייהם – למרות שרבים ירצו להמשיך לעבוד. לפיכך, מתן שירותי בריאות מתקדמים יתרום לטיפול הקשישים מחייהם, יקטין את הוצאות המדינה על רווחה חברתית ויספק מענה לאתגר כוח העבודה המצטמצם.
- ג. **מוביליות:** יפן מתכוונת לבנות חברה בה כל אדם יכול לטייל בחופשיות ובבטיחות, עם אפס תאונות הנגרמות מטעויות אנוש, ובעלות מינימלית. מטרות אלו יושגו באמצעות שינוע אוטונומי ווירטואלי.
- ד. **ביטחון מידע:** תחום ביטחון המידע יהיה חייב להשתפר ולהתקדם צד בצד עם ההתפתחויות בבינה המלאכותית בתחומים האחרים. ביטחון המידע יוודא אמינות ויציבות של המערכות העתידיות, לצד שמירה על סודיות המידע.
- באזורים אלו קיים צורך דחוף בפתרונות לבעיות חברתיות ובתרומה לפיתוח הכלכלה. חשוב לא פחות, קיימות ציפיות גדולות מהבינה המלאכותית שתתרום לתחומים אלו ספציפית.
- התכנית נערכת לשלושה שלבי שימוש בבינה המלאכותית, כדלקמן –
- **שלב ראשון:** שימוש ויישום בינה מלאכותית מושתתת-מידע שפותחה עבור תחומים שונים. שלב זה ימומש עד 2020 בערך.
 - **שלב שני:** שימוש ציבורי בבינה מלאכותית ובמידע שפותחו עבור תחומים שונים. שלב זה ימוצה עד 2025 או 2030 לכל המאוחר, ואז יתבצע המעבר לשלב השלישי.
 - **שלב שלישי:** אקוסיסטם חדש המבוסס על תחומים המקושרים ביניהם.

מועדי המימוש עבור שלבים אלו מבוססים על יכולות הטכנולוגיה החזויות בלבד, וייתכן בהחלט שבתחומים בהם יהיה קושי להגיע לאימוץ חברתי רחב, יידרש יותר זמן לעבור משלב לשלב. התכנית מונה מספר המלצות בכמה נתיבים שונים.

המלצה ראשונה: מו"פ

- **קביעת סדרי עדיפויות למחקר:** קביעת סדרי העדיפויות תיעשה בהתאם לתחומים 'הבוערים' שהוגדרו בתכנית (פרודוקטיביות, רפואה, מוביליות, ביטחון מידע) ובשיתוף פעולה עם החברה האזרחית.
- **מטרות המו"פ ייקבעו בתיאום בין מרכזי המחקר:** המחקר המתמקדים בבינה מלאכותית יתאמו ביניהם ת'מות מו"פ וישתפו פעולה להוצאתן לפועל. הת'מות המרכזיות שייבחרו יהיו כאלו שעומדות במספר דרישות:
 - » בעלות גישה מחקרית עקבית;
 - » אינן צפויות למצוא את דרכן לשוק בעתיד הקרוב, ואינן מקבלות תמיכה מהמגזר הפרטי;
 - » מתקיימות בתחומים קואופרטיביים, כגון קביעת סטנדרטים בינלאומיים ושיתוף בתשתיות טכנולוגיות.
- **קידום פרויקטי מו"פ המבוססים על שת"פ תעשייה-אקדמיה-ממשלה:** יקודם תיאום של פרויקטים בין מרכזי המחקר האקדמיים לתעשייה ולצרכים של משרדי ממשלה.

המלצה שנייה: טיפוח משאבי אנוש

- **טיפוח כוח עבודה למו"פ בתחום הבינה המלאכותית:** על מנת לממש את מטרות המו"פ והתיעוש של התכנית, יש צורך לפצות על המחסור בכוח עבודה בעל מומחיות בבינה מלאכותית, במיוחד בשלב הראשון בו אנו נמצאים כיום. כוח עבודה שכזה צפוי להידרש למגוון יכולות וידע כלליים הקשורים בבינה מלאכותית ("פתרון בעיות"), ולהפיק ידע חדש במדעי המחשב ובתכנות ("מימוש") כמו גם ליישם אותו בתחומים חברתיים ("יישום").
- **טיפוח כוח עבודה להפצת הערך:** בשלב השני והשלישי צפויה טכנולוגיית הבינה המלאכותית לשאת פרי, אך יש צורך באנשים שיוכלו להפיץ את הערך הזה ברחבי התעשייה ולשכנע את הציבור להשתמש במוצרים החדשים.
- **התמקדות בעובדים בתחום:** קיימת חשיבות רבה לעודד השתתפות אנשי הבינה המלאכותית ביוזמות בתחום, וליצור עבורם סביבת עבודה ומו"פ שמושכת נוספים. המשמעות היא שיש צורך לתגמל את החוקרים לא רק במשכורת גבוהה אלא גם בסביבת עבודה, בגישות ובתוכן שימשכו אותם. כדאי גם להשקיע בהזדמנויות להרחיב את אופקיהם, השכלתם ואפשרויות הקריירה שלהם, למשל באמצעות חילופי סטודנטים וחוקרים בין מכוני מחקר ואוניברסיטאות.
- **פיתוח סביבה לימודית מתאימה:** יש צורך לפתח סביבה לימודית שתתאים לצרכים החברתיים ולצרכי התעשייה בתחום הבינה המלאכותית.

המלצה שלישית: תחזוקה סביבתית של מידע וכלים הנמצאים ברשות התעשייה, האקדמיה והממשלה

- **תגבור תחזוקת המידע בתחומי העדיפות:** המידע נחוץ לפיתוח טכנולוגית הבינה המלאכותית. חשוב לנצל את המידע שניתן לגרוף מסקטורי הבריאות, הטיפול הרפואי, הרווחה, התחבורה, החקלאות, היערנות והימאות. על מנת לעשות זאת, מרכזי המחקר חייבים לשתף פעולה עם משרדי הממשלה הרלוונטיים. בנוסף, יש לדאוג לכך שניתן יהיה להשתמש גם בתוצרי העבודה של הבינה המלאכותית כמידע.
- **תחזוקת מידע המגיע משיתופי פעולה בין האקדמיה-תעשייה-ממשלה:** מאחר ואגירת ותחזוקת מידע גובות עלויות כבדות, יש צורך לפתח מערכת תמיכה לתחזוקת וניהול מאגרי מידע חשובים.
- **קידום השימוש במידע שבבעלות הסקטור הפרטי:** בהתאם לחוקים הקיימים ביפן בנוגע לקידום השימוש במידע הפרטי והציבורי, הממשלה הלאומית, גופים ציבוריים מקומיים ועסקים פרטיים יהיו חייבים לשתף פעולה ולעבוד ביחד על מנת להרחיב את הפצת המידע.

המלצה רביעית: תמיכה בסטארט-אפים

- **חיזוק תמיכה בסטארט-אפים באמצעות חדשנות פתוחה:** מומלץ לחברות גדולות קיימות לתאם ביניהן את התמיכה בסטארט-אפים ובמסחר המוצרים, ובהקמת פלטפורמות פתוחות לעידוד ותמיכה בחדשנות. בנוסף, חשוב לציין את כוח האדם המיומן בחברות השונות על מנת ליצור רשת שתאפשר לבעלי המומחיות המתאימים לקחת חלק ביוזמות המתאימות.
- **טיפול ושימור האנשים האחראים לסטארט-אפים:** קיים עדיין מחסור באנשים הלוקחים אחריות על פתיחת סטארט-אפים בתחום הבינה המלאכותית. יש צורך לטפח אותם בכל הזדמנות.

המלצה חמישית: קידום ההבנה בנוגע לפיתוח טכנולוגיית בינה מלאכותית

- **הפעלת יח"צ עבור הבינה המלאכותית:** יש צורך להסביר לאזרחים את משמעויותיה של הבינה המלאכותית עבור החברה, ולהתגבר על התפישות השליליות בנוגע אליה.
- **הבנת הבינה המלאכותית:** חשוב שציבור המשתמשים וספקי השירותים יבינו את טכנולוגיית הבינה המלאכותית. לשם כך יש לקדם את ההבנה בנושא זה.

» התכנית הלאומית בהודו

בפברואר 2018 הודיע שר הפיננסים ההודי כי הממשלה תשיק תכנית בינה מלאכותית לאומית, שכוללת מו"פ בתחום (Thomas, 2018). הממשלה הגדילה במקביל את התקציב – Digital India – היוזמה לעידוד חדשנות בתחומים כבינה מלאכותית, למידת מכונה, ועוד (Bhattacharya, 2015). עם זאת, לא גובשה עדיין תכנית לאומית מוגמרת ששחררה לציבור.

» האיחוד האירופי (טרם פתח תכנית אסטרטגית חדשה)

לפי דיווחי המועצה האירופאית, האיחוד האירופי מרכיב בימים אלו תכנית אסטרטגית חדשה להתמודדות עם בינה מלאכותית, שתשתחרר לידיעת הציבור עד אמצע 2018 (European Commission, 2017). תכנית זו תבחן את הדרכים הטובות ביותר לקדם בינה מלאכותית כך שתועיל לציבור ולעסקים באירופה, כמו גם לחברה ולכלכלה כולה. התכנית תתמודד גם עם סוגיות אתיות, משפטיות וסוציו-אקונומיות.

נכון לרגע זה, האיחוד האירופי עדיין פועל תחת תכנית SPARC שנפתחה בשנת 2013 ואמורה להמשיך להכווין את המו"פ עד שנת 2020. התכנית נועדה להפוך את אירופה למובילה עולמית בתחום הרובוטיקה, ולהביא רובוטים אירופאים למפעלים ולסביבה החיצונית למטרות שונות כגון חקלאות, בריאות, שירותי הצלה ועוד. המועצה האירופית השקיעה 700 מיליון אירו במימון התכנית, והתעשייה האירופאית השקיעה עוד 2.1 מיליארד אירו (EU-Robotics, 2017).

» לקחים מרכזיים מהתכניות האסטרטגיות

בין השנים 2016 ל-2017 גובשו באופן ציבורי שבע תכניות אסטרטגיות לאומיות בנושא הבינה המלאכותית: בארצות הברית, סין, יפן, קנדה, איחוד האמירויות הערביות, סינגפור ובריטניה. השנתיים האחרונות היו, לפיכך, את הנקודה בה החלו הישויות המדיניות להבין את כוחה של הבינה המלאכותית ואת חשיבות המו"פ וההכנה לקראתה. מעבר על שבע התכניות הללו מניב מספר עקרונות וקווים משותפים לדמותן.

עקרון ראשון: התעשייה כגורם מוביל

כל התכניות הלאומיות מתייחסות לתעשייה כגורם מוביל בתחום הבינה המלאכותית. התעשייה מובילה במימוש, פיתוח ויישום העקרונות המתגלים במחקר האקדמי, אך מסוגלת גם לנהל מחקר ברמה גבוהה בכוחות עצמה, באמצעות העסקת החוקרים המיומנים ביותר, ומשיכת חוקרים מהאקדמיה. התעשייה מסוגלת גם לשנות כיוון במהירות – יכולת חשובה בתחום מתפתח כמו הבינה המלאכותית, בו יכולות התפישות הקיימות להשתנות באופן דרמטי תוך זמן קצר.

עובדות אלו הביאו לכך שאפילו סין הריכוזית הודתה כי התקדמות בתחום הבינה המלאכותית חייבת להתבצע באמצעות הסתמכות על התעשייה כגורם מוביל, והגדירה כאחד מעקרונות הבסיס של התכנית הלאומית את ההנחה ש"השוק הוא הקובע".

בחלק מהתכניות הלאומיות – ארצות הברית, סין, סינגפור ובריטניה – ניתנה התייחסות גם להשתתפות הציבור הרחב בתהליך המו"פ. כותבי התכניות המליצו על עידוד פתיחת מעבדות יצירה (Maker spaces) ופלטפורמות משותפות בהן יוכלו ממציאים, מפתחים ואנשים מהציבור הרחב לפעול לבד וביחד כדי לפתח יישומים חדשים בבינה מלאכותית. בהתאם, הועלו גם הצעות לפתוח את המידע – במיוחד זה שברשות הממשלה, או מידע שהופק במחקרים אקדמיים במימון הממשלה – לציבור, לאחר שעבר תהליך אנונימיזציה, כמובן. מידע זה יוכל לעזור לכל ממציא ומפתח לאמן את הבינה המלאכותית שירצה לשחרר לשוק.

באמצעות ההסתמכות על התעשייה והציבור כמובילי החדשנות, מתכוונות המדינות האמורות לבחון את אפשרות השימוש במספר רב ככל האפשר של תת-תחומים בבינה מלאכותית, במימון נמוך מצד הממשלה.

עקרון שני: תמיכה ממשלתית בתחומים שהתעשייה מזניחה

החברות התעשייתיות עתידות לקדם תחומים רבים בבינה המלאכותית, אך תחומי-העניין שלהן מוגבלים בהכרח למוצרים ולשירותים שיכולים להניב עבור החברות רווחים בעתיד הנראה-לעין. דוגמה טובה לכך הופיעה כאשר גוגל רכשה את בוסטון דינמיקס – חברת הרובוטים המובילה בעולם – ו- 'נפטר' ממנה זמן קצר לאחר מכן, כאשר הבינה שמוצרי החברה אינם מוכנים עדיין להיכנס לשוק (Macfarlane, 2017).

על מנת להמשיך לקדם אספקטים מסוימים בתחום הבינה המלאכותית שאינם רווחיים, ממשלות יידרשו לתמוך במחקרים ממספר סוגים מרכזיים באקדמיה.

1. **מחקר בסיס-טכנולוגי:** יש צורך במחקר בסיסי בנוגע לתיאוריות שמאחורי הבינה המלאכותית, שיסייעו בסופו-של-דבר לפתח את הדור הבא של הטכנולוגיות. ההיסטוריה מראה שמחקר בסיסי מסוג זה, שסובסד על-ידי ממשלת ארצות הברית בעיקר, הניב תוך כמה עשרות שנים את רשת האינטרנט ואת הטכנולוגיה והתיאוריות מסביב לתחום הלמידה העמוקה שרומם את הבינה המלאכותית לגבהים חדשים.
 2. **מחקר חברתי:** קיימת חשיבות רבה למחקר שיתמקד באתגרים האתיים, המשפטיים והחוקיים שמציבה הבינה המלאכותית בפני המוסדות החברתיים. מחקר שכזה כמעט ולא יתבצע על-ידי התעשייה עצמה, ולכן דורש סבסוד ממשלתי.
 3. **מחקר שיקדם שוק פתוח של חדשנות:** קיים צורך במחקר שיקדם שוק פתוח יותר של בינה מלאכותית באמצעות יצירת מאגרי מידע שכל החברות יוכלו ליהנות מגישה חופשית אליהם ופיתוח ספריות תכנה וערכות כלים בקוד פתוח.
 4. **קביעת סטנדרטים ואמות מידה:** יש צורך בתיאום והובלה מצד הממשל על מנת לקדם יצירת סטנדרטים ולעודד שימוש רחב שלהם בממשלה, באקדמיה ובתעשייה.
- בנוסף, ממשלות חייבות לתמוך ב- 'רכישת' כשרונות יוצאי-דופן בתחום, הבאתם לאקדמיה ומציאת דרכים לשמור עליהם שם, במקום בו יוכלו לאמן ולהכשיר חוקרים צעירים ומבטיחים.

עקרון שלישי: המידע הוא הנפט החדש

שוררת הבנה רחבה כי "המידע הוא הנפט החדש". ללא מאגרי מידע נגישים וזמינים, יהיה קושי בפתיחת השוק לחדשנות. מכיוון שכך, תכניות לאומיות רבות שמות דגש על שחרור מידע רב ככל האפשר לציבור הרחב, באמצעות כינון מאגרי מידע פתוחים. המידע עצמו יגיע ממחקרים אקדמיים בתמיכת הממשלה, וממשרדים ממשלתיים (לאחר אנונימיזציה).

עקרון רביעי: תיאום בין כל השחקנים בתחום

התכניות הלאומיות דוחפות לתיאום בין כל הגופים הרלוונטיים על מנת להגדיל ככל האפשר את הסיכוי להצלחה, ומתוך הבנה שכל אחד מהסקטורים – התעשייתי, האקדמי והממשלתי – יכול לספק יתרונות משלו. תיאום שכזה יכול להתממש בכמה דרכים –

- **הקמת "מועצת בינה מלאכותית":** מועצת הבינה המלאכותית תפקח על התיאום בין הגופים השונים ותוודא שהתכנית הלאומית ממשיכה להתקדם בקצב מספק ובכיוון הנכון.
- **דחיפה לתיאום בין הגופים:** חוקרים באקדמיה יעודדו אקטיבית לשתף פעולה עם התעשייה. משרדים ממשלתיים יעזרו בתעשייה להטמעת טכנולוגיות בינה מלאכותית בפעילותם, ויסייעו לה בתורם באמצעות העברת מידע ציבורי לחברות.
- **תיאום בין מרכזי מחקר:** מרכזי מחקר צריכים לפעול ביחד, לשתף פעולה ולתאם את השימוש בכוח המחשוב המשותף שלהם למטרות מחקר בינה מלאכותית.
- **תיאום בתעשייה:** מומלץ כי החברות הגדולות יתאמו ביניהן את התמיכה בסטארט-אפים ובמסחר המוצרים, ובהקמת פלטפורמות פתוחות לעידוד ותמיכה בחדשנות.
- **קביעת סטנדרטים משותפת:** קהילת הבינה המלאכותית – משתמשים, תעשייה, אקדמיה וממשל – צריכה להשתתף בפיתוח תכניות לקביעת סטנדרטים ואמות מידה.
- **תיאום בין המגזר הצבאי והאזרחי:** סין במיוחד שמה דגש על התיאום בין המגזר הצבאי והאזרחי, ומתחייבת להעמיק את האינטגרציה בין המגזר הצבאי והאזרחי בתחומי הבינה המלאכותית, לבסס מנגנונים לנרמול תקשורת ותיאום בין מוסדות מחקר מדעיים, אוניברסיטאות, מפעלים ויחידות צבאיות ולקדם את השימוש הצבאי בבינה מלאכותית לתמיכה בקבלת החלטות צבאיות ויישומים צבאיים נוספים.

עקרון חמישי: התייחסות לצד הרך של הבינה המלאכותית

מערכות הבינה המלאכותית יפעלו בהכרח לפי הנורמות הרשמיות והלא-רשמיות התקפות בחברה אנושית. לפיכך, יש צורך במחקר מעמיק בנוגע לכללי האתיקה, המשפט, הפרטיות, החוק והחברה להם יהיו נתונות מערכות הבינה המלאכותית. נושא זה חשוב עד כדי כך שארצות הברית וסין קבעו אותו כאחד האתגרים המרכזיים עמם יש להתמודד.

במסגרת ההתייחסות לצד המוסרי, האתי והחוקי של בינה מלאכותית, יש להבין כיצד לשפר את השקיפות של האלגוריתמים המפקחים על חיי האזרחים, וכיצד להטמיע מגבלות של חוק ושל הוגנות לתוך הבינה המלאכותית. יש להבין כיצד לבנות בינה מלאכותית אתית, המצייתת לחוקים הקיימים, לנורמות החברתיות ולעקרונות אתיים – ולהחליט על ניסוח פורמלי מדויק של כל אותם חוקים, נורמות ועקרונות.

תשובות לשאלות אלו יגיעו ממחקרים בינתחומיים שיקדמו את שילוב הבינה המלאכותית עם תחומים מגוונים אחרים כנירולוגיה, מדעי הקוגניציה, פסיכולוגיה, מתמטיקה, כלכלה, סוציולוגיה ועוד. כפי שנכתב בתכנית האסטרטגית של סין – "יש להתמקד במציאת תשובות לשאלות המשפטיות שמעלה הבינה המלאכותית, ובמקום בו אין קונצנזוס יש לעודד את המדענים לחקור בחופשיות, להראות תעוזה ולפתח תיאוריות ותגליות מקוריות יותר."

עקרון שישי: הבנת שוק העבודה של העתיד והתכונות לקראתו

קיימת הכרה ברורה ביכולתן של טכנולוגיות הבינה המלאכותית להשפיע על שוק העבודה באמצעות השתלטות על עבודות אנושיות מחד, ופתיחת מקצועות חדשים ונחשקים מאידך. כמעט בכל התכניות האסטרטגיות הוצגה הדרישה לבחון את עתיד כוח העבודה ולהבין כיצד ניתן להתאים את כוח העבודה במדינה לצרכים החדשים של השוק ושל הטכנולוגיה. סין התחייבה לחקור באינטנסיביות את שינויי התעסוקה שהבינה המלאכותית תוביל אליהם ואת המיומנויות שיידרשו המקצועות החדשים. ארצות הברית הבהירה שמסתמן מחסור במומחים בבינה מלאכותית בהשוואה לביקוש הרב שיהיה להם. בריטניה זיהתה כי יהיה ביקוש גדול לבעלי הכשרה גבוהה בתחום הבינה המלאכותית.

במקביל למחקר על עתיד העבודה, הממשלות צריכות לתמוך בפיתוח מערכת הכשרת עובדים ולמידה לאורך-החיים שתענה על צרכי התעשייה החדשה, בשיתוף פעולה בין האוניברסיטאות והתעשייה. תמיכה זו יכולה להתממש במגוון דרכים, כפיתוח קורסים מקוונים פתוחים לכלל הציבור, סבסוד תארים גבוהים בתחומי הבינה המלאכותית ופיתוח תכנית מלגות לחוקרים ולעובדים בתחום הבינה המלאכותית.

9. שוק העבודה של העתיד

הקדמה

ההיסטוריה חושפת כי שוק העבודה עבר תמורות רבות במאתיים השנים האחרונות. בארצות הברית של אמצע המאה ה-19, למשל, עסקו שישים אחוזים מהעובדים במקצועות חקלאיים. עד 1970, צנח נתח התעסוקה בחקלאות לפחות מחמישה אחוזים. באופן דומה, שיעור העובדים בתחום הייצור צנח מ-26 אחוזים ב-1960, לפחות מעשרה אחוזים כיום. בסין אירעו תמורות אלו רק לאחרונה – אך במהירות מסחררת: כשליש מכוח העבודה הסיני זנח את תחום החקלאות לאנחות בעשרים וחמש השנים האחרונות בלבד (הנתונים מגיעים מדו"ח של מכון מקינזי הגלובלי (McKinsey Global Institute, 2017)).

בניגוד לדעה הפשטנית המקובלת בציבור הרחב, טכנולוגיות מעולם לא גרמו לאובדן עבודה לאורך זמן בשוק כולו, אלא רק לזליגת עובדים בין מקצועות. המשרות החדשות מופיעות לרוב בתחומים שאינם קשורים לתחום המקורי עבורו הומצאה הטכנולוגיה. המחשב האישי, למשל, הביא ליצירתן של 15.8 מיליון משרות חדשות בארצות הברית – גם כאשר נלקחות בחשבון המשרות שנעלמו בעטיו. רוב מכריע של המשרות החדשות הופיעו בסקטורים שונים של התעשייה, שלא היו קשורים עד אותו זמן לתחום המחשוב.

למרות דפוסים אלו מההיסטוריה, יש להודות כי טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה עשויות להיות בעלות השפעה דרמטית יותר על שוק העבודה. אנדרו אנג, המדען הראשי של חברת Baidu Research טוען כי – "הבינה המלאכותית היא החשמל החדש", ומוסיף כי, "ממש כפי שלפני מאה שנים החשמל חולל שינוי מקיף בתעשייה אחר תעשייה, הבינה המלאכותית תעשה עכשיו אותו הדבר." (Lynch, 2017)

בחלק זה בדו"ח נעבור על התחזיות האחרונות בנושא עתיד העבודה, ששחררו כמה מחברות הייעוץ, העתידנים והגופים הבינלאומיים החוקרים את התחום, ולאחר מכן נסכם את התובנות העיקריות.

חשוב לציין שבחלק זה של הסקירה התמקדנו רק בתחזיות ארוכות-טווח – כלומר, לשנת 2030 לפחות. תחזיות לטווח קצר יותר מתמקדות בדרך כלל בשנת 2020

דו"ח מכון מקינזי הגלובלי (דצמבר 2017)

מכון מקינזי הגלובלי (McKinsey Global Institute) חוקר את עתיד העבודה והכלכלה מאז שנוסד ב-1990. בדצמבר 2017 שחרר המכון את הדו"ח העדכני ביותר שלו – "עבודות שייעלמו, עבודות שיימצאו: שינויים בשוק העבודה בעיתות אוטומציה" (McKinsey Global Institute, 2017). המבוסס על דו"ח קודם מינואר 2017 (McKinsey Global Institute, 2017). סקירת המכון כוללת בחינת 46 מדינות (מבלי התייחסות לישראל), שביחד אחראיות לכמעט תשעים אחוזים מהתמ"ג העולמי. כותבי הדו"ח התרכזו במיוחד בשש מדינות עם רמות הכנסה שונות (סין, גרמניה, הודו, יפן, מקסיקו וארצות הברית), וניסו להבין כיצד יושפעו יותר משמונה-מאות מקצועות שונים, בהתאם לשלושה תרחישים שונים המשקפים את קצב האימוץ הטכנולוגי והתפתחות דרישות העבודה החדשות.

לפי הדו"ח, בערך שישים אחוזים מכל המקצועות כיום, יכולים לעבור אוטומציה של לפחות שליש מהמטלות הכרוכות בהם – וזאת באמצעות שימוש בטכנולוגיות הקיימות כיום. עם זאת, מספר המשרות שיייתפסו הלכה למעשה על-ידי טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה עד 2030 יהיה קטן יותר בשל גורמים חברתיים, כלכליים וטכניים שישפיעו על האימוץ המלא. התרחישים שפיתח המכון מתפרשים על ספקטרום רחב: מספר המשרות שיייתפסו על-ידי טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה יכול לנוע בין כמעט אפס, לבין שליש מכל המשרות הקיימות, כאשר נקודת האמצע עומדת על 15 אחוזים (400 מיליון משרות בכל רחבי העולם). רמת ההשפעה צפויה להשתנות בין מדינות, כאשר דווקא כלכלות מפותחות יותר צפויות להיות מושפעות יותר מאוטומציה, בשל השכר הגבוה יחסית, המתמך מעבר לטכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה.

כותבי הדו"ח מצביעים על כך שגם אם שיעור ויכולותיה האוטומציה יגדלו דרמטית, הרי שגם הצורך בעובדים אנושיים יוכל לגדול במקביל, בין היתר בזכות הגדילה בפרודוקטיביות שמספקות טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה. תחומים חדשים צפויים להיפתח, ושוקי עבודה קיימים צפויים להתרחב – למשל,

מתן שירותים במדינות המתפתחות, טיפול בקשישים במדינות המפותחות, הקמת תשתיות אנרגיה חדשות, ועוד. עובדים שיימצאו עצמם מאבדים את מקומות עבודתם בשל טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה יוכלו לעבור לתחומים הללו – בהינתן סיוע מתאים מצד הממשל וגופים אחרים. במקרים מסוימים יוכלו הממשלות עצמן לפתוח מיזמים חדשים – כגון הקמת תשתיות הנחוצות בפני עצמן – כדרך לספק עבודה לעובדים שסבלו מחדירת טכנולוגיות אלו לתחומם.

חשוב לציין שכותבי הדו"ח אמנם אינם מאמינים שיהיו יותר עובדים מעבודות, אך הם מדגישים כי השינויים בשוק העבודה עשויים להקביל או אפילו להשאיר הרחק מאחור את היקף השינויים ההיסטוריים שהתחוללו במהפכה התעשייתית. לפי התרחישים, בין 75 מיליון ל- 375 מיליון עובדים יאלצו להחליף עד 2030 את מקצועם. ומעבר לכך: כל העובדים יאלצו להתאים את עצמם לטכנולוגיה, מאחר והמקצועות עצמם יתפתחו במקביל למכונות. ההתאמה תדרוש רכישת השכלה גבוהה, פיתוח מיומנויות חברתיות ורגשיות, יצירתיות, מיומנויות קוגניטיביות ברמה גבוהה, ויכולות אחרות שקשה להרכישן למחשבים ולרובוטים.

על מנת לשמר את הצמיחה המתמדת בכלכלה, יש לוודא שרוב העובדים שיאבדו את עבודתם בשל טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה במדינות המפותחות, ימצאו עבודה חדשה תוך שנה אחת או פחות. אם תהליך מציאת העבודה החדשה יתארך מעבר לכך, ניתן לצפות למשבר: האבטלה תגדל בטווח הקצר, ורמות השכר עלולות לרדת כתוצאה.

ברור, לסיכום, שהמצב אינו פשוט בעיני כותבי הדו"ח. מצד אחד, קובעי המדיניות ומובילי הכלכלה יצטרכו לאמץ את היתרונות שמביאות טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה לשוק העבודה – אך גם להתמודד במקביל עם שינויי התעסוקה שייכפו הטכנולוגיות הללו על העובדים. הדבר החשוב ביותר מבחינת המכון הוא שימור הצמיחה והדינמיות הכלכלית, מאחר וההיסטוריה מוכיחה כי שווקים כלכליים שאינם מתרחבים, אינם פותחים עבודות חדשות. יהיה צורך באימון באמצע-החיים לעבודות חדשות, ותמיכה בשוק עבודה דינמי המאפשר לעובדים למצוא מקומות עבודה חדשים. צרכים סותרים אלו יחייבו פיתוח מודלים חדשים בחינוך ובהכשרה, כמו גם תמיכה בעובדים שמצאו עצמם מאוימים מטכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה וזקוקים לתמיכה בתקופת המעבר שבין מקצועות.

מגבלתו המרכזית של הדו"ח היא בהתמקדותו בטכנולוגיות ובדרכי העבודה הקיימות בהווה. הוא אינו לוקח בחשבון התפתחויות טכנולוגיות כשימוש בטכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה למתן מענה לצרכים רגשיים, למשל. הדו"ח גם אינו מתייחס לשינויים דרמטיים אפשריים בדרכי העבודה – למשל שינוי מודל החברות התעשייתיות הקיים כיום, שיחליפן בארגונים מבוזרים אוטונומיים (DAOs), באופן דומה לזה בו ויקיפדיה המבזרת תפסה את מקומה של אנציקלופדיית בריטניקה הריכוזית.

לפי מסקנות כותבי הדו"ח, המקצועות שיחוו את הצמיחה הגבוהה ביותר כוללים ספקי רפואה ובריאות; מומחים מקצועיים כמהנדסים, מדענים, רואי חשבון ואנליסטים; מומחים מקצועיים בתחומי מערכות המידע וטכנולוגיות אחרות; מנהלים שקשה להחליף את עבודתם במכונות; מחנכים; ו- 'היצירתיים' – אנשים הנסמכים על האמנויות לפרנסתם. גם עבודת אנשי הבנייה תגדל, לצד מספר המשרות בתחום השירות והעבודה הידנית בסביבות שאינן רוטניות.

במדינות מפותחות (כישראל, אף שהמדינה אינה מוזכרת במפורש בדו"ח) חוזים החוקרים כי האוטומציה תגיע בעיקר למקצועות הפגיעים ביותר לחדירתה. באלו נכללים מקצועות התמיכה המשרדית (פקידים משרדיים, מזכירים, אנשי פיננסים וראיית חשבון), מטלות המשלבות אינטראקציה עם הלקוחות (עובדי מלון ונסיעות, פקידי בנק, מלצרים וכדומה), ומגוון רחב של עבודות רוטניות, כעובדי פס ייצור, שוטפי כלים, טבחים, נהגים ומפעילי ציוד חקלאי ובכלל.

דו"ח מקינזי: המלצות מדיניות

החוקרים כוללים מספר המלצות מדיניות להתמודדות עם טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה, כדלקמן –

■ שימור צמיחה כלכלית

הדרך הטובה ביותר לדעת החוקרים להתמודדות עם זליגת עבודה לאוטומציה היא פתיחת מקומות עבודה חדשים – וכזו מתרחשת רק בשווקים גדלים. "כלכלות שאינן מתרחבות אינן יוצרות משרות חדשות", כדבריהם (עמ' 105). מכיוון שכך, יש לשמור על הצמיחה הכלכלית, בין היתר באמצעות השקעות במו"פ ובהון אנושי והנמכת המחסומים לכניסה לתחומים חדשניים בתעשייה. באופן פרדוקסלי, יש לתמוך דווקא באימוץ טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה – אפילו כאשר הן מובילות לפגיעה בשוק העבודה – מאחר וטכנולוגיות אלו מהוות מנועי צמיחה ארוכי-טווח, וישפרו את הפרודוקטיביות ואת הרווחה הכללית, לצד יצירת מקצועות חדשים, מטלות חדשות ומודלים חדשים לעסקים.

■ התמקדות באימון מחדש ופיתוח מיומנויות העובדים

ממשלות יהיו חייבות לתעדף אימון וחינוך מחדש עבור עובדים בוגרים בעשור הקרוב. מאות מיליוני אנשים צפויים לשנות את מקצועם, ויצטרכו לרכוש מיומנויות חדשות – כולל עבודה עם מכונות שאינן קיימות עדיין כיום.

ברור שמדובר במטלה לא-קלה עבור ממשלות העולם, אך ניתן למצוא תכנית לאומית לחינוך מחדש כיום בסינגפור, תחת השם *יוזמת מיומנויות עתיד* (Skills Future Initiative). ממשלת סינגפור פתחה את התכנית ב-2016, והיא מספקת לסינגפורים בני 25 ומעלה סיבסוד לקורסים בתחומים נבחרים. נכון לסוף 2017, כמעט עשרה אחוזים מכל האוכלוסיה הזכאית לקורסים (285,000 סינגפורים) ניצלו את היוזמה כדי ללמוד בקורסים הללו (SkillsFuture, 2018). לא ידוע מה מידת ההצלחה של התכנית בהתאמת עובדים למקצועות חדשים.

כמובן, הממשלות אינן חייבות לשאת בכל נטל החינוך מחדש בעצמן. חברות אמריקניות כ-AT&T, סטארבקס ווולמארט משתפות פעולה עם האקדמיה או פותחות מכונים אקדמיים משלהן (כ- Walmart Academy) כדי לספק לעובדיהן הכשרה מחדש בתחומים שונים. אמאזון מסבסדת 95 אחוזים מעלויות החינוך של עובדיה, לאחר שנה אחת בלבד של עבודה בחברה. תכניות דומות קיימות בחברות בגרמניה ובשווייץ, ומאפשרות לתלמידים החל מגיל חטיבת הביניים להפוך ל-'שוליות' בחברות, כאשר החברות מתמקדות בעיקר בתכונות האופי והמיומנויות של השוליה, ולא בידע שהוא מביא עמו.

תכניות אלו יכולות לספק קווים מנחים כלליים לפתיחת תכניות שיסייעו להכשיר עובדים למקצועות חדשים.

■ חינוך למיומנויות הולמות לעידן האוטומציה

כותבי הדו"ח ממליצים להתמקד בקידום החינוך במספר תחומים –

» הנדסה, פיתוח ושימוש בטכנולוגיה (מהנדסים מכל הסוגים, ובעיקר בתחום המחשוב)

» פיענוח, עיבוד ושימוש במידע (מדעני מידע, סטטיסטיקאים, מתמטיקאים, וכו')

» ניהול והובלת פרויקטים ועובדים (מנהלים)

» אינטראקציה עם אחרים, המחייבת מיומנויות חברתיות ורגשיות (מגשרים, מומחים למשא ומתן וכו')

» יצירתיות ופתרון בעיות במשותף

מערכות החינוך – במיוחד האקדמיות – יצטרכו להתקדם עם הזמנים ולוודא שהן מספקות מענה לצרכים המשתנים של שוק העבודה.

פתרונות יעילים יגיעו, קרוב לוודאי, מתוך שיתופי פעולה עם חברות הקרמ"פים (קורסי רשת מסיביים פתוחים) כ- Coursera ו-Udacity. חברות אלו מספקות קורסים ברמה אקדמית גבוהה, בחינם או במחירים נמוכים (חמישים דולרים לקורס). כבר היום, עיקר לקוחותיהן מגיעים משורותיהם של העובדים המבוגרים המנסים לרכוש ידע נוסף. עם זאת, עדיין לא ברור מה רמת הצלחתן בהרכשת ידע לסטודנטים.

■ שיפור הדינמיות של שוק העבודה

שיפור הדינמיות של שוק העבודה יקל על מובטלים ועובדים מתוסכלים למצוא עבודות מתאימות יותר במהירות. עם זאת, קיימות ראיות שדווקא במדינות מפותחות, שווקי העבודה הופכים לפחות דינמיים, ופחות אנשים מחליפים את מקצועותיהם, אף שהסיבות המדויקות לתופעה אינן ברורות לגמרי. ניתן לשפר את הדינמיות באמצעות סילוק מחסומים ביורוקרטיים המכבידים על המעבר מעבודה לעבודה, שימור יתרונות כפנסיה במעבר ממעסיק אחד למשנהו, ופישוט תהליך ההקמה וגיוס הכספים שצריכים יזמים לעבור כדי להקים חברות חדשות. גם שיפור המוביליות הגאוגרפית יכול לעזור, מסיבות ברורות.

שימוש בפלטפורמות דיגיטליות למציאת עבודה יכול להגביר את דינמיות שוק העבודה. פלטפורמות כאלו כוללות את LinkedIn, Indeed.com, Monster.com ואחרות. לפי הערכות כותבי הדו"ח, שימוש בפלטפורמות למציאת עבודה יכול לקצר את משכי הזמן בין עבודות עבור 230 מיליון מחפשי עבודה (MKinsey & Company, 2015).

פלטפורמות דיגיטליות אחרות יכולות לסייע למובטלים ולעצמאיים למצוא עבודות זמניות בצורתה של "כלכלת ה-gig". פלטפורמות מסוג זה כוללות את Upwork, Freelancer.com, HourlyNerd, Uber, Lyft, TaskRabbit, eBay, Airbnb ועוד רבות אחרות.

■ סיוע לעובדים במהלך המעבר בין עבודות

אבטלה גורמת לקשיים כלכליים, בריאותיים, רגשיים ופסיכולוגיים – גם למובטל עצמו, וגם למשפחתו. ממשלות יכולות לספק שירותי תמיכה פיננסית ורגשית למובטלים, כמו גם להציע להם ייעוץ והשמה מחדש.

ממשלות מסוימות שוקלות אפשרות קיצונית יותר: כינון הכנסה בסיסית כללית (Universal Basic Income, UBI), במסגרתה יועברו תשלומים חודשיים לכל האזרחים, מבלי יוצא מן הכלל. תשלומים אלו יאפשרו לאזרחים לכסות את עלויות המחיה הבסיסיות – ואולי גם לממן לעצמם הכשרות וחינוך מחדש לפי הצורך. למרות העובדה שנערכים או נערכו מספר ניסויים שכאלו בפינלנד, בארצות הברית, באוגנדה, בקניה ובהודו, קשה למצוא מחקרים מהימנים שמוכיחים את עליונותה של ההכנסה הבסיסית הכללית על תכניות אחרות לסיוע ממשלתי.

לסיכום בקצרה, המלצות החוקרים לממשלות הן –

- להגדיל דרמטית את אפשרויות ההכשרה מחדש
- להעביר את מערכות החינוך מודרניזציה
- להרחיב את אמצעי התמיכה בעובדים שעוברים לעבודה חדשה
- ליצור אמצעי תמיכה בהכנסה שמתאימים למציאות החדשה
- לתת עדיפות לאומית ליצירת עבודות ולהכשרה ושיבוץ מחדש של עובדים
- לשכלל את מערכות איסוף המידע על שוק העבודה
- במקביל, ההמלצות למובילי התעשייה הן –
- להאיץ את אימוץ ויישום האוטומציה והבינה המלאכותית
- לעצב מחדש תהליכים עסקיים כדי להפיק הישגים בפרודוקטיביות
- לחשוב מחדש על דרך הפעולה של הארגון
- לגבש יכולות ליבה בתחומי הדיגיטל והאנליטיקה
- לאמץ אסטרטגיות שמתרכזות ב- 'טאלנט' – באופיו וביכולותיו האינהרנטיות של העובד, ולא רק במיומנויות שהוא ניחן בהן כעת
- להוביל שינויי קריירה בתוך הארגון ומחוצה לו
- לשקול שותפויות לפיתוח כשרונות

אחרון חביב, המלצות הכותבים לאינדיבידואלים – לאנשים 'הקטנים' שיושפעו ישירות מהשינויים – הינן –

- אמץ דרך חשיבה של "אתה הסטארט-אפ": אתה אחראי לגורלך, וצריך לאמץ גישה יזמית של למידה ושינוי מתמידים כדי לנווט את דרכך בעולם.
- רכוש מיומנויות שיהיו נחוצות בעתיד, והמשך בדרך של למידה מתמדת לאורך החיים.
- התכונן לעולם של חיפוש עבודה דיגיטלי.
- שקול דרכים חדשות לעבוד.

ביקורת על דו"ח מקינזי

דו"ח מקינזי הוא יצירה עצומה ומרשימה המנסה לספק 'גבולות גזרה' להבנתנו את שנת 2030, בראי האוטומציה המתפשטת מחד, ומגמות חברתיות, כלכליות וטכנולוגיות מאידך. עם זאת, יש לציין כי הדו"ח מוגבל מכמה בחינות, שהכותבים עצמם מכירים ומודים בחלקן.

חלק מהסיבות בעטיין עשויה השפעת טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה על הכלכלה להיות קטנה יותר מהמשוער כוללות –

- **אימוץ איטי מצד חברות:** ידוע כי חברות נוהגות לאמץ באיטיות טכנולוגיות דיגיטליות חדשות, עקב הצורך בהשקעות גדולות ובשינוי המודלים העסקיים והארגוניים. מכיוון שכך, קיימת גם אפשרות כי דווקא מודל האימוץ האיטי ביותר יתממש – ובו פחות מחמישה אחוזים מהעבודה עוברת אוטומציה עד 2030, עם השפעה אפסית על הכלכלה.
- **זליגת שעות לא-פרופורציונלית:** החוקרים מניחים כי כל שעת עבודה שעוברת אוטומציה, מגיעה על חשבון שעת עבודה אנושית. עם זאת, חברות נוטות לעתים קרובות להגדיר מחדש את תפקידי העובדים או להעביר עובדים מתפקיד לתפקיד בארגון. דוגמה לכך ניתן למצוא במכשיר הכספומט, שגם לאחר שנכנס לשימוש, עדיין המשיך מספר פקידי הבנק בארצות הברית לגדול במשך שנים רבות, על אף שתפקידם המדויק השתנה עם הזמנים (Bessen, 2015). אם כך יהיה המצב (ואין סיבה לחשוב אחרת), הרי שהאוטומציה תשתלט על מספר קטן יותר של שעות עבודה מהמצופה – לפחות בשנים הראשונות.
- **התייחסות למספר מוגבל של גורמים:** החוקרים מתייחסים רק לשבעה גורמים שצפויים להגדיל את הביקוש בשוק העבודה. קיימים, כמובן, גם גורמים אחרים.
- **אימוץ מהיר עשוי להוביל להגדלת הביקוש לעובדים:** באופן פרדוקסלי, דווקא אימוץ מהיר של טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה עשוי, לדעת החוקרים, להוביל להגברת הפרודוקטיביות של עובדים, לעלייה במשכורות וליצירת יותר מקומות עבודה מהצפוי.
- לחלופין, קיימות גם סיבות בעטיין עשויה השפעת טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה על שוק העבודה להיות גדולה יותר מהצפוי. אלו כוללות –
- **התעלמות מהתפתחויות עתידיות בתחומי- בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה:** החוקרים מתמקדים רק בטכנולוגיות קיימות – כגון יכולתם של המחשבים לבצע מטלות חישוביות מורכבות במהירות – אך מתעלמים מתחומים המתפתחים כיום במהירות כגון מחשוב רגשי (affective computing), בזכותם עשויה האוטומציה להשתלט גם על מקצועות שאינם נראים פגיעים כיום, כגון אינטראקציה עם לקוחות ואפילו ניהול עובדים.
- **הערכת חסר של יכולות טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה:** החוקרים מודים כי חברות וממשלות יוכלו לאמץ טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה לא רק בשל עלותן הנמוכה ביחס לעובדים (הסיבה היחידה בה מתחשבים בדו"ח), אלא גם בשל האפשרות שהן יובילו להצלחה גדולה יותר מהעסקת עובדים אנושיים. הם אינם מתייחסים לאפשרות זו בדו"ח, אך מכירים בכך שאם זה יהיה המצב, הרי שטכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה יאומצו מהר יותר על-ידי מעסיקים.

- **התעלמות מטכנולוגיות מחוץ לבינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה:** החוקרים מתעלמים לגמרי מטכנולוגיות שאינן קשורות לאוטומציה – למשל, ממציאות מדומה. אלא שדווקא טכנולוגיה כמו מציאות מדומה יכולה להשלים את החסר במטלות מסוימות. למשל, אוטאר ממוחשב של פסיכולוג במציאות מדומה, עשוי לספק אותה רמה של תמיכה רגשית שפסיכולוג אנושי בעולם הפיזי יכול לספק, וכך לפגוע גם במקצוע הפסיכולוגיה. אותו הדבר עשוי להיות תקף גם לחינוך.
 - **התעלמות משילובים טכנולוגיים חדשים:** החוקרים אינם שוקלים את הדרך בה טכנולוגיות ומגמות יוכלו להשתלב זו עם זו ליצירת מבנים חברתיים חדשים ומגמות חדשות. רחפנים, לדוגמה, הם שילוב של מספר טכנולוגיות שונות באופן בלתי-צפוי. נראה ברור שהטכנולוגיות בהווה ישתלבו גם הן באופן "יחודי" בעשור הקרוב, בדרכים שקשה לנו לחזות עדיין.
 - **התעלמות ממבנים ארגוניים חדשים:** החוקרים אינם לוקחים בחשבון התפתחויות חברתיות אפשריות, כיצירת מבנים ארגוניים חדשים (למשל, ארגונים אוטונומיים מבוזרים כ-DAOs). מבנים אלו עשויים לייתר את הצורך במנהלים, למשל.
 - **אופטימיות לגבי הגדילה העתידית בתמ"ג:** החוקרים מניחים שהתמ"ג יגדל בקצב מסוים, אך בעשור האחרון הצמיחה הממשית בתמ"ג במדינות מפותחות הייתה נמוכה מהצפוי. אם כך יקרה גם בעשור הקרוב, הרי שיהיה קשה יותר ליצור מקומות עבודה חדשים לאנשים.
 - **אופטימי מאד לגבי יכולתם של אנשים למצוא עבודה חדשה:** החוקרים מדגישים במפורש כי השינוי הקרב יכול להיות בהיקף המקביל בגודלו למשבר החקלאות בתחילת המאה העשרים, ולאחרונה בסין. אך בניגוד לשינויים אלו, בהם הצעירים בחרו לעזוב את החוות מאחוריהם ולעבור לערים, הפעם יצטרכו המדינות למצוא דרך לאמן מחדש את העובדים המבוגרים שכבר זכו להכשרה ברמה גבוהה – שתהפוך להיות לא רלוונטית במהירות. כפי שכותבים החוקרים (עמ' 19) – "ישנם תקדימים מועטים לחברות שהצליחו לאמן מחדש מספר גדול כל-כך של אנשים". בהינתן מצב עניינים זה, מתקבלת תחושה כי החוקרים מנסים להציג את מסקנותיהם באופן שלא ירתיע את מקבלי ההחלטות או את הציבור הרחב, מתוך הבנה שהדרך המרכזית לקדם את הכלכלה בהצלחה במדינות המפותחות ולהימנע ממשבר, היא באמצעות שימור אומן הציבור בכלכלה ובהמשך הצריכה.
- אם לסכם במילותיהם של כותבי הדו"ח (עמ' 20) –
- "בסופו של דבר, כולנו נצטרך חזונות יצירתיים בנוגע לדרך בה יאורגנו וישוערכו חיינו בעתיד, בעולם בו תפקיד ומשמעות העבודה מתחילים להשתנות"
- "תחזיקו חזק – brace yourself. כל המדינות יתמודדו עם שינויים בהיקף-גדול בכוח העבודה ב-15 השנים הקרובות, כאשר האוטומציה תחליף חלק מהעובדים וצרכי העבודה ישתנו. קובעי המדיניות ומנהיגי התעשייה יתקלו באתגר משמעותי בניסיון לאפשר ולהקל על השינויים הללו"

עתיד התעסוקה לפי אוסבורן & פריי, עם יישום עבור ישראל

מחקרם של קרל ב. פריי ומייקל א. אוסבורן מסוף 2013 היווה את יריית הפתיחה במרוץ הניסיונות לחזות את עתיד התעסוקה בהינתן העלייה הדרמטית הצפויה ביכולותיהן של המכונות. החוקרים בחנו 702 מקצועות שונים וניסו להבין מה הסיכוי שכל אחד מהם יעבור מחשוב ואוטומציה. הם השליכו מהתוצאות על כלכלת ארצות הברית, והגיעו למסקנה כי 47 אחוזים מסך כל התעסוקה בארצות הברית נמצאת בסיכון לאוטומציה בעשרים השנים הקרובות (Benedikt Frey et al., 2013). חוקרים אחרים השליכו מהתוצאות על מדינות אחרות בעולם, כאנגליה (עם 15 מיליון משרות בסיכון לאוטומציה) (Haldane, 2015). בהמשך חלק זה נתייחס לפרסום התוצאות של החוקרת שביט מדהלה-בריק ממרכז טאוב, שבחנה את משמעותיות מסקנותיהם של אוסבורן ופריי עבור שוק העבודה הישראלי (בריק, 2015).

אוסבורן ופריי (Carl Benedikt Frey, 2013) זיהו מספר צווארי-בקבוק עבור טכנולוגיות אוטומציה, כדלקמן –

- **מטלות חישה:** רובוטים עדיין אינם מסוגלים להתחרות בעומק ורוחב החישה האנושית, ובמיוחד במטלות חישה מורכבות, כזיהוי חפצים ותכונותיהם. מכיוון שכך, מקצועות המחייבים זיהוי עצמים בעלי צורה לא-

טיפוסית (למשל, בסביבה ביתית), יחייבו נוכחות אנושית. עם זאת, עבודות המתבצעות בסביבות מסודרות היטב, כמרכולים, מפעלים, מחסנים, שדות תעופה ובתי-חולים, עשויות לעבור אוטומציה בקלות יחסית.

- **מטלות תפעול:** כתוצא ישיר של הקושי בחישה, רובוטים מתקשים גם בתפעול עצמים בעלי צורה לא-סטנדרטית, ובהתאוששות מכשול – זיהוי שגיאה שעשה הרובוט, ותיקונה. למשל, הרמת חפץ שנפל. קיים קושי גם בתכנון וייצור גפיים גמישות ורכות כאלו של בני-אדם, שמסוגלות להתאים למגוון רחב של צרכים ומספקות משוב.
- **מטלות תבונה יצירתית:** מחשבים אינם מתקשים לממש את השלב הראשון בפיתוח רעיונות יצירתיים – להעלות מספר רב של רעיונות אפשריים. עם זאת, הם מתקשים לבחון את הרעיונות השונים ולברור במהירות את אלו שבעלי פוטנציאל להצלחה – בין היתר מאחר שהפוטנציאל נקבע גם לפי ערכי התרבות האנושית העכשווית. מכיוון שכך, הבינה המלאכותית אמורה להתקשות במטלות מסוג זה.
- **מטלות תבונה חברתית:** מטלות רבות בשוק העבודה, כגון שכנוע, משא ומתן וטיפול בבני-אדם, מחייבות תבונה חברתית. רובוטים ומחשבים מסוגלים לחקות חלק מהאינטראקציות בין בני-אדם, אך קיים קושי בזיהוי רגשות אנושיים בזמן-אמת ובתגובה מיידית וחכמה אליהם.

לאחר זיהוי המגבלות הללו, בחנו החוקרים עד כמה הן רלוונטיות עבור כל אחד מ-702 המקצועות שנבדקו, כדי להבין מה רמת הסיכון לאוטומציה עבור כל מקצוע. כך, למשל, שטיפת כלים מחייבת רמה נמוכה מאד של תבונה חברתית או יצירתית, ולכן נמצאת בסיכון גבוה יותר לאוטומציה. בדרך זו חילקו החוקרים את המקצועות השונים לפי סקטורים בתעשייה, וייחסו לכל סקטור רמת סיכון שונה לאוטומציה.

לפי הערכות אלו, 47 אחוזים מכלל התעסוקה בארצות הברית נמצאים בסיכון גבוה לאוטומציה (כלומר, מעל 70% סבירות לאוטומציה של המקצוע) בעשור או שניים הקרובים. בנוסף, 19 אחוזים נמצאים בסיכון בינוני (בין 70% ל-30% סיכוי לאוטומציה) ו-33 אחוזים בסיכון נמוך (מתחת לשלושים אחוזי סיכוי לאוטומציה).

החוקרים מציינים כי ניתן גם לחשוב אחרת על ציר ה-X באיור, ולהניח שהוא מתאר את מעבר הזמן, ושכל שמקצוע מסוים פגיע יותר לאוטומציה, כך גדל הסיכוי שהוא ימוחשב בעתיד הקרוב. בראייה זו של הדברים, ניתן לצפות לשלושה גלי מחשוב –

- בגל הראשון, ייתפסו רוב העבודות בתחומי השינוע, הלוגיסטיקה, התמיכה המשרדית, המכירות והייצור.
- בגל השני ייתפסו רוב העבודות במקצועות השירות, ההתקנה, התחזוקה והתיקונים.
- בגל השלישי ייתפסו כל יתר העבודות שנשארו, ובעיקר כאלו המחייבות רמה גבוהה של תבונה חברתית ויצירתית, כחינוך, הנדסה ומדע, אך גם כאלו המחייבות רמה גבוהה של חישה ותפעול עצמים, כרפואה וניתוח.

השלכת התוצאות על ישראל

החוקרת שביט מדהלה-בריק ממרכז טאוב הסתמכה על תוצאות מחקרם של אוסבורן ופריי בניתוח שערכה ב-2015 עבור שוק העבודה הישראלי. היא בחנה את המקצועות הקיימים בישראל כיום לפי אותה מתודולוגיה, וחשפה כי 39 אחוזים משעות התעסוקה בישראל מרוכזים במקצועות בסיכון גבוה לאוטומציה, 20 אחוזים בסיכון בינוני ו-41 אחוזים בסיכון נמוך.

מדהלה-בריק מציינת כי התפלגות זו דומה לזו שהתקבלה בגרמניה ובארצות הברית, וכי – "עובדה זו מאששת את ההנחה שמדובר בתהליך גלובלי ואף טבעי, שצפוי להתרחש בכל המדינות שיש בהן הטמעה של טכנולוגיות חדשות."

מדהלה-בריק בחנה את העובדים הנמצאים בסיכון גבוה למחשוב, והגיעה למספר מסקנות בנוגע למאפייניהם –

- **יחס הפוך לרמת ההשכלה:** באופן כללי, ככל שהעובדים משכילים פחות, כך מקצועם נמצא בסיכון גבוה יותר לאוטומציה. עם זאת, קשר זה אינו נכון תמיד. לרבים מהעוסקים במקצועות בסיכון גבוה – כסוכני ביטוח, עובדי מזכירות, מנהלי חשבונות, פקידים בבנק ופקידי חברות אשראי – יש תואר אקדמי, אך זה אינו יכול

להציל את מקצועם מאוטומציה. לחלופין, קיימים מקצועות מסוימים בסיכון נמוך לאוטומציה – למשל קוסמטיקה, ספרות, שיטור ועוד – אך שהעובדים בהם מתאפיינים במספר שנות לימוד נמוך.

- **יחס הפוך בין שכר לרמת סיכון לאוטומציה:** ככל שהשכר גבוה יותר במקצוע מסוים, כך קטן הסיכון שאותו מקצוע יעבור אוטומציה.
- **מגדר ולאום בעלי משמעות:** הגברים הלא-יהודים נמצאים בסיכון גבוה במיוחד לאוטומציה של משלוח ידיהם (57% משעות העבודה של הגברים לא-יהודים נמצאות בסיכון גבוה, לעומת 35% משעות העבודה של הגברים היהודים), ואחריהם נמצאות קבוצות הנשים היהודיות והלא-יהודיות.

המלצות מדיניות לפי מדהלה-בריק

מדהלה-בריק מסכמת כי ניתן לראות מגמה – שאמורה להימשך לפי התחזיות – של מעבר ממקצועות בסיכון גבוה לאוטומציה, למקצועות בסיכון נמוך יותר. מעבר זה יכול לסחוף ארבעים אחוזים ויותר, משעות העבודה במשק הישראלי. שינויים אלו צפויים להשפיע בעיקר על הקבוצות החלשות יותר במשק הישראלי, כגברים לא-יהודים, צעירים ונטולי השכלה אקדמית.

כדי להתמודד עם המצב החדש, ממליצה מדהלה-בריק –

- **להשקיע בהכשרות מקצועיות:** קיימים אמנם מסלולים של שירות התעסוקה שמסייעים להכשיר מקצועית מובטלים, אלא שלפי הנתונים מ-2014, פחות מאחוז ממחוסרי העבודה מופנים להכשרות הללו. זהו שירות שיש לשקול את האפשרות להרחיבו. עם זאת, נראה כי חלק ממסלולי ההכשרות המקצועיות מתמקדים דווקא במקצועות בסיכון גבוה – מצב שיש לשנות.

- **לעדכן את תכניות הלימוד במוסדות האקדמיים ובבתי הספר**

כפי שניתן לראות, המלצותיה של מדהלה-בריק תואמות לאלו המגיעות ממחקרים אחרים המוצגים בחלק זה, כגון דו"ח מקינזי ודו"ח PWC.

ביקורת על מחקרם של אוסבורן & פריי

אוסבורן ופריי 'פרצו את הדרך' עבור בחינת עתיד שוק העבודה בראי יכולותיהן החדשות של טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה. עם זאת, חובה להתייחס לביקורת על המחקר (שהחוקרים עצמם מצינים את חלקה במאמר שכתבו), כדלקמן –

- **מחקר ישן שאינו מתייחס להתפתחויות החדשות:** המחקר המקורי נערך ב-2013, ומאז הספיקה הטכנולוגיה להתפתח ולהגיע להישגים חדשים. לא ניתן לטעון שצווארי הבקבוק שזיהו אוסבורן ופריי לפני חמש שנים אינם רלוונטיים, אך ברור עתה כי הקשיים פחות משמעותיים מכפי שנראו בעבר. כדוגמה, ניתן להתייחס לעליית היכולות המרשימה בתחום המחשוב הרגשי, שעשויה להפריך את טענתם של החוקרים לפיה – "מטלות לא-רוטניות ככתיבה משפטית ונהיגה במשאית יעברו אוטומציה בקרוב, בעוד ששכנוע, למשל, לא."

- **אין התייחסות לטכנולוגיות מלבד אוטומציה:** החוקרים אינם מתייחסים לטכנולוגיות בתחומים אחרים, כגון מציאות מדומה (אולי מכיוון שתחום זה היה עדיין בחיתוליו ב-2013). מכיוון שכך, הם יכולים להחמיץ התפתחויות שיאיימו על מקצועות נוספים – למשל, מחשבים שייתנו שירותי תמיכה רגשית באמצעות אוואטארים אנושיים-למראה, בעולם של מציאות מדומה.

- **אין התייחסות למקצועות חדשים שייפתחו:** החוקרים אינם מתייחסים למקצועות חדשים שיכולים להיפתח, או למשרות החדשות שייפתחו כתוצאה מהעלייה בפרודוקטיביות ומצמיחת הכלכלה (ראו דו"ח מקינזי בנושא).

- **אין התייחסות לעולם האמיתי:** החוקרים מצהירים במפורש כי הם סוקרים את סוג המקצועות שיכולים לעבור אוטומציה, אך לא מתייחסים לתנאים הכלכליים, החברתיים, הפוליטיים והחוקיים שיקבעו האם יעברו אוטומציה בפועל.

- **אין לוח-זמנים:** החוקרים אינם מנסים להגדיר לוח-זמנים מסודר עבור האוטומציה של המקצועות, אלא מסתפקים בקביעת הסיכון לכל מקצוע וסקטור בתעשייה, בתקופה של "עשור או שניים", כפי שהם כותבים.

"האם רובוטים יגנבו את עבודותינו?" – דו"ח של PWC (מרץ 2017)

ארבעה חוקרים בחברת PWC פרסמו במרץ 2017 דו"ח קצר אודות עתיד העבודה – "האם רובוטים יגנבו את עבודותינו? ההשפעה הפוטנציאלית של אוטומציה על אנגליה ושווקים כלכליים גדולים אחרים" (PWC, 2017). החוקרים בחנו את המתודולוגיות המחקריות של אוסבורן ופריי, ופיתחו מתודולוגיה משלהם שהייתה אמורה לכפר על בעיות במתודולוגיה המקורית.

חוקרי PWC בחנו ספציפית את תת-המטלות בתוך כל משרה כדי להבין עד כמה כל משרה כוללת נמצאת בסיכון לאוטומציה. הם הגיעו למסקנה שמתוך כלל המשרות בארצות הברית ובאנגליה, כ-38% ו-30%, בהתאם, נמצאות בסיכון גבוה לאוטומציה.

הערכות החוקרים לגבי התחומים באנגליה (המדינה בה התמקדו החוקרים) שיעברו את האוטומציה הדרמטית ביותר הינן –

- מסחר ומכירות
- ייצור
- שירותי ניהול ותמיכה
- שינוע ואחסון

החוקרים מזהים מספר נתונים חשובים בנוגע לטיב העובדים הפגיעים במיוחד לאוטומציה. גברים, מסתבר, נמצאים בסיכון גבוה יותר מנשים – כנראה בשל העובדה שבמקצועות הפגיעים ביותר (שינוע, ייצור, מכירות, אחסון) ניתן למצוא יותר גברים מנשים. בנוסף, עובדים בעלי השכלה נמוכה פגיעים יותר מבעלי השכלה בינונית (46% סיכון לעומת 36% סיכון), והרבה יותר מבעלי השכלה גבוהה (12% בלבד). כמו כן, עובדים בשוק הפרטי פגיעים יותר מבעלי משרה ציבורית.

המלצות מדיניות

כותבי הדו"ח ממליצים לממשלות לרכז את מאמציהן במספר כיוונים –

- **השקעה בחינוך והכשרה מחדש:** ממשלות צריכות להשקיע יותר בחינוך, אימון והכשרה, בתחומים שיהיו שימושיים ביותר לעובדים בעולם העובר אוטומציה בקצב הולך וגובר. יש צורך ביישום עקרונות "למידה מתמדת" (Lifelong learning) שתתעדכן כל העת, על מנת "להישאר צעד אחד לפני הרובוטים", כפי שכותבים החוקרים.
- **תמיכה בסקטורים הדיגיטליים לייצור משרות חדשות:** הממשלה צריכה לתמוך בסקטורים הדיגיטליים שיוכלו ליצור משרות חדשות.

בנוסף, ממליצים החוקרים לשקול אפשרויות שנויות יותר במחלוקת, כהתערבות ישירה בחלוקת ההכנסה. רעיון ההכנסה הבסיסית הכללית מוזכר, אך מגבלותיו מובנות היטב: העובדה שרבים מקבלים כספי ציבור על אף שאינם זקוקים להם, וכך מתמסמסים התמריצים לאינדיבידואלים לכניסה לשוק העבודה ולייצור הכנסה.

ביקורת על דו"ח PWC

- **אין ודאות לגבי קצב ההתפתחות הטכנולוגי:** כותבי הדו"ח עצמם מדגישים כי הם מבססים את תוצאותיהם על היכולות שצפויות להיות בידי בינה מלאכותית ורובוטים בתחילת שנות השלושים של המאה ה-21. קצב זה עשוי להאיץ דרמטית בתחומים מסוימים, או להאיט לזחילה בתחומים אחרים – ובהתאם לכך יושפעו גם תוצאות המחקר.
- **קצב אימוץ איטי:** אפילו המקצועות בסיכון הגבוה ביותר לאוטומציה לא יעברו מעבר מלא לידי המכונות, ממספר סיבות. ראשית, יש צורך בהשקעה ראשונית גבוהה מצד חברות בתעשייה, על מנת לאמץ טכנולוגיות

חדשות ולהתאים אותן לארגון, ולא פחות חשוב – את הארגון עבורן. השקעה ראשונית זו צפויה להיות גבוהה במיוחד בשנים הראשונות להתפתחות הטכנולוגיה, ועל אף שהעלות תרד בוודאי בשלב מסוים – ואולי בצורה דרמטית – קשה לדעת בוודאות מתי היא תרד מספיק לאימוץ כללי של הטכנולוגיות מצד חלק גדול מהחברות במשק.

- סיבה אפשרית נוספת לעיכוב המעבר לאוטומציה יכולה להגיע בעקבות השפעת הרגולטור. טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה רבות מחייבות רגולציה כבדה – למשל, רכבים אוטונומיים שיכולים ליטול חיי אדם, או יעצים רפואיים ממוחשבים שהמלצותיהם יכולים לקבוע גורלות.
- **התעלמות ממספר המשרות החדשות שייפתחו:** בשונה מדו"ח מקינזי, החוקרים אינם מנסים לכמת את מספר המשרות החדשות שייפתחו בשוק. הם מצטטים מחקר קודם בנוגע לקצב היצירה של מקצועות חדשים, לפיו עד 2030, כחמישה אחוזים מכל המשרות באנגליה יהיו מסוג שאינו קיים כיום.

החשיבה החדשה – עידן המכונות השני

עד עתה פירטנו תחזיות דרמטיות בנוגע להשפעת האוטומציה על עתיד העבודה, אך האמת היא שאלו אפילו אינן התחזיות מרחיקות-הלכת ביותר. כלכלנים ידועים ובעלי-שם, כמו גם עתידנים החוקרים את עתיד התעסוקה והכלכלה (ש אחד מכותבי דו"ח זה נמנה על שורותיהם), מעריכים כי אנו נמצאים כיום בפתחו של עידן חדש – "עידן המכונות השני", כפי שהגדירו אותו הכלכלנים אנדרו מק'אפי ואריק ביורפסון בספרם באותו השם (Erik Brynjolfsson, 2016). דעה זו קיבלה אישוש גם מ- 'אורים ותומים' ככלכלן הראשי של בנק אנגליה, אנדרו ג. הלדיין, שהכיר "בטיעונים המשכנעים" וקיבל את תרחיש "עידן המכונות השני" כאפשרי (Haldane, 2015).

קשה למצוא הגדרה טובה ותמציתית ל- "עידן המכונות השני", אך מספר קווים כלליים לדמותו כוללים את הבאים:

- **התקדמות מהירה (אקספוננציאלית) בטכנולוגיות:** כפי שניתן היה לראות מהסקירה עד כה, רוב המחקרים מתמקדים בטכנולוגיות הקיימות כיום ומנסים להבין מה תהיה ההשפעה על שוק העבודה בעתיד. עם זאת, ברור שטכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה ימשיכו להתפתח, וייתכן שקצב השכלול אף ילך ויגדל בזכות תרומתה של הבינה המלאכותית לתהליך המחקר והפיתוח. מכיוון שכך, כאשר כל דור חדש של מכונות ייתמך ביכולותיו של הדור הקודם ויבנה עליהן, ניתן לצפות להתקדמות אקספוננציאלית מהירה ביכולותיהן של טכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה.
- **מכונות יוכלו לתפוס מספר מקצועות גדול מהמשוער:** כפועל יוצא של ההתקדמות האקספוננציאלית בטכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה בשני העשורים הקרובים, מקצועות רבים מהצפוי יוכלו לעבור אוטומציה. בתחומים רבים, לא יוכלו העובדים האנושיים להתמודד עם יעילותן של המכונות. חסידי "עידן המכונות השני" אינם מקבלים את ההנחה שיהיו מקצועות עמידים לאוטומציה, ומוכנים לקבל גם את האפשרות שמקצועות מסוימים שנראים לנו כיום עמידים יותר – למשל, פסיכולוגיה או ספרות – יוכלו לעבור אוטומציה אפילו בעשור הקרוב.
- **התפשטות המכונות לתבונה רגשית ויצירתית:** המאמינים ב- "עידן המכונות השני" סבורים שטכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה לא יהיו מוגבלות רק לביצוע מטלות חישוביות רוטיניות, אלא יוכלו לרכוש מומחיות ומיומנות גם במטלות הדורשות תבונה רגשית ויצירתית – למשל בניהול כיתה והרגעת ילד בוכה, במתן טיפול פסיכולוגי אמפתי ורגיש, או בפיתוח מנועים חדשניים ויעילים יותר מהקיימים.
- **ראייה הוליסטית של המגמות הטכנולוגיות:** על מנת להבין את "עידן המכונות השני", יש לבחון גם את התפתחותן של טכנולוגיות מתחומים אחרים מלבד הרובוטיקה והבינה המלאכותית. אלו כוללות את האינטרנט של הדברים, ביג דאטה, פלטפורמות לעבודה משותפת בענף, טכנולוגיות בלוקצ'יין ליצירת ארגונים מבזרים ו/או אוטונומיים חדשים וטכנולוגיות מציאות מדומה ורבודה. כל אלו מתחברות ביחד בדרכים חדשות ולא-צפויות, שיאיצו את קצב מעבר העבודות מבני-האדם למכונות. כך, למשל, ניתן לחשוב על אוטאר ממוחשב של פסיכולוג במציאות מדומה, שעשוי לספק תמיכה רגשית ברמה דומה לזו שפסיכולוג אנושי בעולם הפיזי יכול לספק, או מורה ממוחשב בעולם מציאות מדומה. שני הפיתוחים הללו עלולים לפגוע במקצועות הפסיכולוגיה וההוראה – מקצועות שנראים כיום בטוחים מאוטומציה.

- **מודלים ארגוניים חדשים:** בעידן המכונות השני יתפתחו מודלים ארגוניים חדשים. חלקם יותאמו לעבודה משותפת של הציבור בענן, בתשלום לפי שעות, לפי מטלה או לפי פרויקט. ארגונים אחרים יעברו אוטומציה כמעט-מלאה, ויספקו שירותים אוטומטיים בתחומים שונים כביטוח, בנקאות, ואפילו חינוך. המאפיין העיקר והחשוב ביותר של מודלים חדשים אלו הוא שהם ייבנו מסביב ליכולותיהן החדשות של הטכנולוגיות, ולא ינסו להתאים את הטכנולוגיות למודלים הארגוניים הקיימים.
- **חלוקה מחדש של העושר:** בעולם החדש, במילותיו של מארק אנדרסון, "יהיו שני סוגים של עובדים – בעלי הרובוטים, ואלו שעובדים עבור הרובוטים". עבודות מעמד הביניים – הדורשות השכלה בינונית – יתדלדלו ויתמעטו, בזמן שהעבודות הדורשות השכלה גבוהה יהפכו להיות נחשקות וחשובות הרבה יותר, והעבודות הדורשות השכלה נמוכה יחוו פיחות בשכר עקב זליגת אנשי מעמד הביניים למקצועות הללו. מצב זה יביא לחלוקה מחדש של העושר בחברה, ולטלטלות חברתיות, פוליטיות וחברתיות שקשה להעריך מראש את טבען – או מה יהיו המודלים החברתיים החדשים שישקפו בהצלחה את המציאות החדשה בעידן המכונות השני.

מודלים כלכליים וחברתיים חדשים לעידן המכונות השני

כלכלנים ועיתונים המנסים להבין את טבעו של עידן המכונות השני, מזהירים כי המודלים הכלכליים והחברתיים הקיימים כיום יתקשו להתמודד עם המצב החדש, וכי יש צורך בחשיבה מסוג חדש כדי להתמודד עם השינויים הגדולים. חשוב להבין כי אין עדיין פתרונות טובים למצב החדש – ולמעשה, סביר להניח שהפתרונות שיהיו, כאשר יהיו, יתאימו לראיית העולם החדשה של בני הדור הבא, ולא ייראו מוצלחים בעינינו. אף על פי כן, ניתן למצוא מספר רעיונות ראשוניים בספרות למודלים חברתיים וכלכליים חדשים אפשריים.

- **הכנסה בסיסית כללית:** הרעיון הידוע ביותר הוא כנראה מודל ההכנסה הבסיסית הכללית, במסגרתו יקבל כל אזרח סכום כסף מסוים שיאפשר לו להתקיים בכבוד בסיסי. מודל זה יאפשר לרבים להתקיים ללא עבודה קבועה, כאשר ההכנסה הבסיסית תספק את צרכיהם הבסיסיים, בנוסף ל-'השלמת הכנסה' שתגיע ממקורות פרנסה ארעיים כנסיעה באובר, השכרת דירתם באירבנב, ביצוע פרויקטים קצרים בפלטפורמות כ-TaskRabbit או מכניקל טורק, ועוד. עם זאת, מודל ההכנסה הבסיסית אינו מספק מענה לבעיית המשמעות – תחושת הערך העצמי והחיבור החברתי שמספקת העבודה.
- **מיסוי רובוטים:** ביל גייטס, מייסד מיקרוסופט, הציע בעבר להטיל מס גבוה יותר על חברות המעסיקות רובוטים, כדרך לפצות את הציבור על מקומות העבודה 'שנגזלים' ממנו (James, 2017).
- **פיתוח מודלים רחבים יותר של שליטה בחברות:** באמצעות טכנולוגיות בלוקצ'יין ופלטפורמות עבודה והצבעה משותפות, אפשר לפתח מודלים רחבים יותר לשליטה בחברות על-ידי העובדים (או המשתתפים) בהן, ואפילו על-ידי הציבור הרחב.
- **כלכלת האנושיות:** בעולם בו כל מטלה יכולה להתבצע על-ידי המכונות, נותר רק ייחוד אחד לבני-האדם – הנכונות לבצע מטלות שהיו יכולות להתבצע ביעילות גבוהה יותר על-ידי המכונות. אנשים שיסכימו לשרת אחרים כנהגי-יוקרה במכוניות, על אף העובדה שרכב אוטונומי זול ובטוח יותר, ימצאו עדיין עבודה באמצעות המסחר ב-'אנושיותם', הלכה למעשה.
- **כלכלת המעשים הטובים:** מודל זה, המוצע בספרו של רועי צזנה "השולטים בעתיד" (צזנה, 2017) (גילוי נאות: הסופר הוא גם אחד מכותבי הדו"ח הנוכחי), מהווה נגזרת של רעיון ההכנסה הבסיסית הכללית. האזרחים במודל מקבלים תגמול כספי על 'מעשים טובים' שהם מבצעים, שמשרתים את החברה כולה: טאטוא הרחוב, סיוע לקשישים, או אפילו (בהקצנה של הרעיון) צחצוח שיניים וקריאת ספרים.

לא ניתן לדעת מראש, כמובן, איזה מהמודלים הנ"ל יצליחו, או אם אפילו אחד מהם יצליח. כל אחד ואחד מהם מהווה רעיון ראשוני בלבד, שגם אם יש בו ממש – עליו להתפתח עוד הרבה לפני שיהיה מעשי. עם זאת, הם מאפשרים לנו לבחון כמה המלצות מדיניות ראשוניות עבור עידן המכונות השני.

המלצות מדיניות לעידן המכונות השני

הכותבים השונים אודות עידן המכונות השני מספקים מספר המלצות מדיניות שניתן ליישם כבר בשנים הקרובות, כדלקמן –

- **אימון והכשרה מחדש:** בדומה לכל החוקרים עד כה, גם המאמינים בבואו של "עידן המכונות השני" תומכים בהכשרה מחדש של העובדים. עם זאת, הם סבורים שיש להתמקד בהכשרה בתחומים אליהם המכונות יתקשו יותר להיכנס: אולי, בעולם של בעלי רובוטים מועטים ומספקי שירותים רבים בעלי השכלה נמוכה, יש להתמקד דווקא במיומנויות הרגשיות והחברתיות של עבודה בצוותא ודחיית סיפוקים, או בפיתוח תודעת שירות.
- **להירגע – יהיה בסדר:** אנדרו הלידיין, הכלכלן הראשי בבנק אנגליה, ממליץ קודם כל להירגע, אך אינו מפרט בהרבה מעבר לכך. ייתכן כי בדומה לכותבי דו"ח מקינזי שהוזכר קודם, גם הוא מבין כי כדי שהכלכלה תמשיך להתפתח ויפתחו משרות נוספות, יש צורך לשמור על אווירה של יציבות וביטחון הציבור בכלכלה.
- **התמקדות בחינוך ליצירתיות ויזמות:** גם בעידן המכונות השני, עדיין יהיה יתרון חשוב אחד לבני-האדם – הם אינם עושים את מה שבני-אדם אחרים אומרים להם לעשות. יצירתיות, אחרי הכל, אינה רק העלאת רעיונות חדשניים (את זה יוכל גם המחשב לעשות), אלא גם אמונה בצדקת הדרך וברעיון יוצא-הדופן, ונכונות להתאמץ ולחתור להצלחה גם כשכל הסובבים את היזם אומרים לו שאינו יכול להצליח. לפי גישה זו, יש לחנך את הצעירים ליזמות וליצירתיות.
- **התמקדות בחינוך לניהול:** בעשור או שניים הקרובים, לא נראה שמחשבים יצליחו להגיע לרמה של ניהול גמיש, בה המנהל מבצע עבודות רבות שונות מדי יום – ומוכן לשנות את תפקידו לפי דקה ולפי צורך. הכלכלנים מק'אפי וביורפסון מביאים דוגמה למנהל שכזה בחנות בגדים, שצריך בכל יום לדבר עם הלקוחות, לבחון את בגדיהם, להזמין בגדים חדשים, להעלות רעיונות יצירתיים לביגוד ופתרונות יצירתיים ללקוחות בעייתיים, לנהל את צוות החנות ועוד. זהו סט מטלות שניתן בוודאי להעבירו לכמה מחשבים, אך ייתכן שיהיה זול יותר להשאירו בידי אדם אחד. לפיכך, יש להתמקד בחינוך לניהול.
- **קידום דרכי החינוך:** בעולם המתקדם במהירות הולכת וגוברת, יש צורך גם בחינוך מהיר, עדכני ויעיל יותר. יש להשקיע, לפיכך, בחינוך מקוון, עצמאי, ובהקניית מיומנויות למידה לצעירים שיאפשרו להם לרכוש בעצמם ידע מהאינטרנט.
- **חינוך ודחיפה לשיווק עצמי:** מק'אפי וביורפסון מאמינים כי עידן המכונות השני יתאפיין במספר קטן של "מנצחים גדולים" שיצליחו לשווק עצמם באופן אגרסיבי לציבור. גם כאשר מחשבים מסוגלים לבצע עבודה של עורך-דין טוב יותר מכל אדם, עדיין יהיה מקום ל- 'עורכי הדין הסלבריטאים' שמספקים ערך ללקוח שלהם מעצם היותם שם עבורו. לפיכך, יש להקנות לצעירים ולמבוגרים כאחד את יכולת השיווק העצמי.
- **אוריינות מחשבונית וסטטיסטית:** בעידן המכונות השני, אלגוריתמים שונים יתחרו זה בזה על לב המשתמשים והצרכנים. באיזה אלגוריתם צריך להשתמש עורך-דין כדי להגיע לניבוי המתאים ביותר של תוצאות המשפט? באיזה אלגוריתם צריך להשתמש רופא כדי לאבחן טוב יותר את הגידול הסרטני? כל חברה תנסה לשווק את האלגוריתמים שלה, ועובדי העתיד יהיו חייבים להפגין אוריינות במחשבים ובסטטיסטיקה כדי שידעו מתי להשתמש בכל אלגוריתם.

ביקורת על עידן המכונות השני

קל להבין שקיימת ביקורת רבה על רעיונות עידן המכונות השני. הכותבים עצמם בתחום זה מתייחסים לרעיונותיהם לעתים קרובות כמעט כאל "מדע בדיוני", עקב היותם מרוחקים כל-כך מקיומנו כיום. כמה מהביקורות הנפוצות ביותר כוללות את הנקודות הבאות –

- **אין תחזיות מוגדרות היטב:** הכותבים אודות עידן המכונות השני אינם מספקים תחזיות מוגדרות היטב, או משתמשים במודלים מבוססים לניתוח השפעות הטכנולוגיה על הכלכלה. ניסיון להשתמש במודלים מסוג זה נראה כמעט נואל, בהינתן קצב השינוי המהיר שהם חוזים, והעבודה שמודלים כלכליים וארגוניים חדשים יהפכו את התחזיות הקיימות כיום ללא-רלוונטיות תוך זמן קצר.
- **אין התייחסות רבה לאימוץ הטכנולוגיות:** הכותבים בתחום זה אינם מתייחסים לקצב אימוץ הטכנולוגיות – בין משום שהם מתעלמים (כאמור בסעיף הראשון) ממרכיב הזמן, בין משום שהם מניחים שבעולם של

"מנצחים טכנולוגיים גדולים" (גוגל, פייסבוק, אמאזון, פנקס גלובלי אחד מבוסס בלוקצ'יין וכו') קצב האימוץ על-ידי המנצחים יהיה כמעט מידי, ולאחר מכן ייושמו הטכנולוגיות בכל העולם בשל אופיים הגלובלי של חברות הענק הללו.

▪ **פתרונות תלויים מהמציאות:** הפתרונות שמציעים החוקרים בתחום זה, נראים לעתים תכופות פרושים ויוצאי-דופן. אין בכך כל פלא, מאחר והחוקרים מתארים עתיד השונה במובנים רבים מכל מה שאנו מכירים כיום, ולעתיד מוזר כל-כך, בוודאי שיהיו פתרונות מוזרים לא-פחות.

למרות כל נקודות הביקורת הללו, אנו ממליצים שלא להתעלם מהרעיונות אודות עידן המכונות השני, ולא להשליכם הצידה מבלי מחשבה מעמיקה. ההיסטוריה מראה לנו שהתחזיות הצנועות יותר אודות המחשבים, האינטרנט ורשתות התקשורת האלחוטיות לא התקרבו להבין את עוצמת וגודל השינוי שהתרחש בעשורים האחרונים, בעוד שדווקא התחזיות הגדולות והנועזות יותר, שנראו כלקוחות מספרי מדע בדיוני בעיני בני אותה העת, התממשו.

10. מקורות

Ahuett-Garza, H., & Kurfess, T. (2018). A brief discussion on the trends of habilitating technologies for Industry 4.0 and Smart manufacturing. Manufacturing Letters. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2018.02.011>

ABI Research. (2017). The Future of Sensors in the Smart Home מתוך ABI Research: <https://www.abiresearch.com/market-research/product/1018560-the-future-of-sensors-in-the-smart-home/>

About - cropin Technology Solutions. (n.d.). Retrieved February 22, 2018, from <http://www.cropin.com/about/>

Accenture Interactive. (2016). Chatbots in Customer Service. Accenture Interactive.

Aditya Ambadipudi, K' H'. (10 2017). Gauging the disruptive power of robo-taxis in autonomous driving. (McKinsey) מתוך <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/gauging-the-disruptive-power-of-robo-taxis-in-autonomous-driving> אוחזר ב- 27 2 2018, מתוך (McKinsey)

Affectiva. (2018). Predicting Ad Liking and Purchase Intent: Large-scale Analysis of Facial Responses to Ads. (Affectiva) מתוך <https://www.affectiva.com/science-resource/predicting-ad-liking-and-purchase-intent-large-scale-analysis-of-facial-responses-to-ads/> אוחזר ב- 20 2 2018, מתוך (Affectiva)

Amazon. (24 12 2013). United States .8615473 פטנט מס'

Ambrose, J'. (19 9 2017). French oil major Total in talks with Google as energy sector turns to AI. (The Telegraph) מתוך <http://www.telegraph.co.uk/business/2017/09/19/french-oil-major-talks-google-energy-sector-turns-ai/> אוחזר ב- 24 2 2018, מתוך (The Telegraph)

Ambur, M., Schwartz, K. G., & Mavris, D. N. (2016). Machine Learning Technologies and Their Applications for Science and Engineering Domains Workshop – Summary Report NASA STI Program . . . in Profile. Retrieved from <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20170000679.pdf>

Andrew McAfee, E' B'. (2018). Machine, Platform, Crowd: Harnessing Our Digital Future. W. W. Norton & Company.

ARK. (2017). Mobility-As-A-Service: Why Self-Driving Cars Could Change Everything. ARK.

Autor, D., (2014). Polanyi's Paradox and the Shape of Employment Growth. NBER Working Paper, NBER Working Paper No. 20485.

Bağcı, U., Bray, M., Caban, J., Yao, J., & Mollura, D. J. (2012). Computer-assisted detection of infectious lung diseases: a review. Computerized Medical Imaging and Graphics : The Official

- Journal of the Computerized Medical Imaging Society, 36(1), 72–84.
<https://doi.org/10.1016/j.compmedimag.2011.06.002>
- Bahrin, M. A. K., Othman, M. F., Azli, N. H. N., & Talib, M. F. (2016). Jurnal Teknologi Science and Engineering, Elektronische Ressource. Jurnal Teknologi (Vol. 78). Penerbit UTM Press. Retrieved from <https://jurnalteknologi.utm.my/index.php/jurnalteknologi/article/view/9285/5537>
- Bakhshipour, A., & Jafari, A. (2018). Evaluation of support vector machine and artificial neural networks in weed detection using shape features. Computers and Electronics in Agriculture, 145, 153–160.
<https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2017.12.032>
- Bao Wang, D' Z'. (2017). Deep Learning for Real Time Crime Forecasting. arXiv.
- Baxter Collaborative Robots for Industrial Automation | Rethink Robotics. (n.d.). Retrieved March 5, 2018, from <http://www.rethinkrobotics.com/baxter/>
- BBC Future. (2015). A Better Connected World מתוך אוצר מותך .BBC Future:
<http://www.bbc.com/future/bespoke/specials/connected-world/government.html>
- BBC News. (19 12 2017). Cyber-attack: US and UK blame North Korea for WannaCry. (BBC News) מתוך אוצר מותך -ב- 23 2 2018, <http://www.bbc.com/news/world-us-canada-42407488>
- BBC. (24 5 2017). Robot police officer goes on duty in Dubai מתוך אוצר מותך .BBC:
<http://www.bbc.com/news/technology-40026940>
- Beaupre, M. (n.d.). Collaborative Robot Technology and Applications. Retrieved from
https://www.robotics.org/userAssets/riaUploads/file/4-KUKA_Beaupre.pdf
- Belluck, P'. (13 11 2017). First Digital Pill Approved to Worries About Biomedical 'Big Brother' . אוצר מותך The New York Times: <https://www.nytimes.com/2017/11/13/health/digital-pill-fda.html>
- Berger Strategy Consultants, R., Blanchet, M., Rinn, T., de Thieulloy, G., & von Thaden, G. (2014). Industry 4.0 The new industrial revolution – How Europe will succeed. Retrieved from
http://www.iberglobal.com/files/Roland_Berger_Industry.pdf
- Bessen, J'. (2015). Learning by Doing: The Real Connection between Innovation, Wages, and Wealth. Yale University Press.
- Best Drones For Agriculture 2017: The Ultimate Buyer's Guide. (n.d.). Retrieved February 25, 2018, from <https://bestdroneforthejob.com/drone-buying-guides/agriculture-drone-buyers-guide/>
- Bhattacharya, A'. (13 2 2018). India hopes to become an AI powerhouse by copying China's model . אוצר מותך Quartz: <https://qz.com/1198182/modi-government-pushes-for-artificial-intelligence-like-china-but-is-india-ready-for-it/>
- BITA. (2018). BITA. (BITA) מתוך אוצר מותך -ב- 3 3 2018, <https://bita.studio/>
- Blum, B'. (8 11 2017). Smartphone app listens to your voice for lung disease. (Israel 21c) 3 1 אוצר מותך -ב- 2018, <https://www.israel21c.org/smartphone-app-listens-to-your-voice-for-lung-disease/>
- Boston Dynamics. (2018). BigDog מתוך אוצר מותך .Boston Dynamics:
<https://www.bostondynamics.com/bigdog>
- Bourzac, K'. (28 3 2016). Bringing Big Neural Networks to Self-Driving Cars, Smartphones, and Drones. (IEEE Spectrum) מתוך אוצר מותך -ב- 15 2 2018, <https://spectrum.ieee.org/computing/embedded-systems/bringing-big-neural-networks-to-selfdriving-cars-smartphones-and-drones>
- Boyd, C. (2017). AI scientists_ How can companies deal with the shortage of talent_. Toward Data Science. Retrieved from <https://towardsdatascience.com/ai-scientists-how-can-companies-deal-with-the-shortage-of-talent-11ab48566677>

- 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>
- Bughin, J., Brussels, J., Hazan, E., Paris, J., Ramaswamy, S., Washington, J., ... Tonby, O. (2017). Artificial Intelligence the Next Digital Frontier? Retrieved from www.mckinsey.com/mgi.
- Cabe, A. (2017). Turning to Machine Learning for Industrial Automation Applications. Retrieved March 6, 2018, from <http://www.electronicdesign.com/industrial-automation/turning-machine-learning-industrial-automation-applications>
- Caggiano, A., & Teti, R. (2018). Digital factory technologies for robotic automation and enhanced manufacturing cell design. <https://doi.org/10.1080/23311916.2018.1426676>
- Callaghan Innovation. (2017). AI Infographic. Callaghan Innovation.
- Campbell, P'. (30 11 2017). General Motors aims to run fleets of self-driving taxis by 2019. (Financial Times) מתוך 2018 2 27 אוצר ב- <https://www.ft.com/content/cc88fc96-d620-11e7-8c9a-d9c0a5c8d5c9>
- Carl Benedikt Frey, M' A'. (2013). The Future Of Employment: How Susceptible Are Jobs To Computerisation? Oxford Martin School.
- Cerrudo, C'. (17 1 2017). Why Cybersecurity Should Be The Biggest Concern Of 2017 אוצר מתוך Forbes: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2017/01/17/why-cybersecurity-should-be-the-biggest-concern-of-2017/2/#1951c42e274c>
- CIFAR. (30 3 2017). Pan-Canadian Artificial Intelligence Strategy Overview אוצר מתוך <https://www.cifar.ca/assets/pan-canadian-artificial-intelligence-strategy-overview/>
- Cohen, J' K'. (7 9 2017). Analysis: Watson for Oncology was over-marketed, now underwhelms hospitals and oncologists. (Becker's Healthcare) מתוך 2018 2 23 אוצר ב- <https://www.beckershospitalreview.com/artificial-intelligence/viewpoint-watson-for-oncology-was-over-marketed-now-underwhelms-hospitals-and-oncologists.html>
- Constantinescu, C. L., Francalanza, E., Matarazzo, D., & Balkan, O. (2014). Information Support and Interactive Planning in the Digital Factory: Approach and Industry-driven Evaluation. *Procedia CIRP*, 25, 269–275. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2014.10.038>
- Cookson, C'. (10 5 2016). Alder Hey hospital to use IBM's Watson to comfort patients. (Financial Times) מתוך 2018 2 23 אוצר ב- <https://www.ft.com/content/e4cecd2a-16a1-11e6-9d98-00386a18e39d>
- Costa, C., & Santos, M. Y. (2017). The data scientist profile and its representativeness in the European e-Competence framework and the skills framework for the information age. *International Journal of Information Management*, 37(6), 726–734.
- Customer Magazine FISCHERSCOPE | Fischer Technology Inc. (n.d.). Retrieved March 6, 2018, from <http://www.fischer-technology.com/en/united-states/company/media/customer-magazine-fischerscope/fischerscope/Edition/show/fischerscope-20171/industry-40-quality-assurance-for-modern-industry/>
- Cybersecurity Ventures. (2017). Healthcare Cybersecurity Report. (Cybersecurity Ventures) אוצר ב- מתוך 2018 2 23 <https://cybersecurityventures.com/healthcare-cybersecurity-report-2017/>
- Cyril W. Draffin, J'. (2016). Cybersecurity White Paper. Mit Energy Initiative: Utility Of The Future.
- DairyGlobal - Bringing artificial intelligence to the dairy barn. (2017). Retrieved February 25, 2018, from <http://www.dairyglobal.net/Smart-farming/Articles/2017/12/Bringing-artificial-intelligence-to-the-dairy-barn-224185E/>

- DARPA. (4 8 2016). "Mayhem" Declared Preliminary Winner of Historic Cyber Grand Challenge. (DARPA) מתוך <https://www.darpa.mil/news-events/2016-08-04>, 2018 2 19 אוחר ב-
- Darryl Jenkins, B' V'. (2017). Forecast of the Commercial UAS Package Delivery Market .
- David Lazer, R' K'. (2014). The Parable of Google Flu: Traps in Big Data Analysis. Science, 343(6176), 1203 - 1205.
- David Silver, J' S'. (2017). Mastering the game of Go without human knowledge. Nature, 354 - 349.
- Davies, A'. (13 11 2017). Self-Driving Trucks Are Now Delivering Refrigerators. (WIRED) 2 27 אוחר ב- <https://www.wired.com/story/embark-self-driving-truck-deliveries/>, 2018 מתוך
- Davies, A'. (25 10 2016). Uber'S Self-Driving Truck Makes Its First Delivery: 50,000 Beers. (WIRED) מתוך <https://www.wired.com/2016/10/ubers-self-driving-truck-makes-first-delivery-50000-beers/>, 2018 2 27 אוחר ב-
- DeepMind. (20 7 2016). DeepMind AI Reduces Google Data Centre Cooling Bill by 40%. (DeepMind) מתוך <https://deepmind.com/blog/deepmind-ai-reduces-google-data-centre-cooling-bill-40/>, 2018 2 24 אוחר ב-
- DEF CON. (2016). DEF CON 24: Cyber Grand Challenge. (DEF CON) מתוך <https://www.defcon.org/html/defcon-24/dc-24-cgc.html>, 2017 5 25 אוחר ב-
- Defense Science Board. (2016). Summer Study on Autonomy. Defense Science Board.
- Deign, J'. (24 7 2017). New Startups Fuel Growth in the Energy Blockchain Ecosystem. (GTM) אוחר ב- <https://www.greentechmedia.com/articles/read/new-entrants-fuel-energy-blockchain-ecosystem-growth#gs.DLRaYRk>, 2018 2 26 מתוך
- Deign, J'. (28 9 2016). Are Lithium-Ion Batteries Reaching the Point of Diminishing Returns? (GreenTechMedia) מתוך <https://www.greentechmedia.com/articles/read/has-li-ion-reached-the-point-of-diminishing-returns#gs.09QYTMl>, 2018 2 15 אוחר ב-
- Deloitte. (2017). Blockchain & Cyber Security. Let's Discuss. Deloitte.
- DePristo Mark, & Poplin Ryan. (n.d.). Research Blog: DeepVariant: Highly Accurate Genomes With Deep Neural Networks. Retrieved February 21, 2018, from <https://research.googleblog.com/2017/12/deepvariant-highly-accurate-genomes.html>
- Dianbo Liu, F' P'. (2017). DeepFaceLIFT: Interpretable Personalized Models for Automatic Estimation of Self-Reported Pain. Journal of Machine Learning Research, 66, 1 - 16.
- Dilsizian, S. E., & Siegel, E. L. (2014). Artificial Intelligence in Medicine and Cardiac Imaging: Harnessing Big Data and Advanced Computing to Provide Personalized Medical Diagnosis and Treatment. Current Cardiology Reports, 16(1), 441. <https://doi.org/10.1007/s11886-013-0441-8>
- Dom Galeon, K' H'. (1 12 2017). Google's Artificial Intelligence Built an AI That Outperforms Any Made by Humans מתוך <https://futurism.com/google-artificial-intelligence-built-ai/>, 2018 אוחר ב-
- Drax. (20 9 2017). How artificial intelligence will change energy. (Drax) מתוך <https://www.drax.com/technology/artificial-intelligence-will-change-energy/>, 2018 2 24 אוחר ב-
- Drinkwater, D'. (17 11 2016). IoT-powered Duke Energy reduces customer downtime with smart grids . מתוך [Internet of Business: https://internetofbusiness.com/duke-energy-smart-grid/](https://internetofbusiness.com/duke-energy-smart-grid/)
- Eickhoff, A., Van Dam, J., Jakobs, R., Kudis, V., Hartmann, D., Damian, U., ... Riemann, J. F. (2007). Computer-Assisted Colonoscopy (The NeoGuide Endoscopy System): Results of the First Human Clinical Trial ("PACE Study"). The American Journal of Gastroenterology, 102(2), 261–266. <https://doi.org/10.1111/j.1572-0241.2006.01002.x>
- Ekso Bionics. (2018). Ekso Bionics. (Ekso Bionics) מתוך <https://eksobionics.com/>, 2018 2 22 אוחר ב-

- Endeavor Robotics. (2018). PACKBOT אוחר מתוך Endeavor Robotics: <http://endeavorrobotics.com/products#510-packbot>
- EnergiMine. (2017). EnergiMine. (EnergiMine) אוחר ב- 26 2 2018, מתוך https://energimine.com/what_we_do.html
- Energy Matters. (6 6 2012). Momo – The Solar Panel Installer Robot. (Energy Matters) 24 2 אוחר ב- <https://www.energymatters.com.au/renewable-news/em3239/>, מתוך 2018
- Erik Brynjolfsson, A' M'. (2016). The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. W. W. Norton & Company.
- Ernst & Young. (2017). Overview of blockchain for energy and commodity trading. Ernst & Young.
- Esmeijer, J., Bakker, T., Ooms, M., & Kotterink, B. (2015). Data-driven innovation in agriculture: Case study for the OECD KBC2-programme Executive summary. Retrieved from <http://tuinbouwdigitaal.net/Portals/30/Downloads/TNO 2015 R10154 Data-driven innovation in agriculture Case study for the....pdf>
- EU-Robotics. (2017). What is SPARC אוחר מתוך EU-Robotics: <https://www.eu-robotics.net/sparc/about/index.html>
- European Commission. (17 11 2017). Making the most of robotics and artificial intelligence in Europe . European Commission: https://ec.europa.eu/commission/commissioners/2014-2019/ansip/blog/making-most-robotics-and-artificial-intelligence-europe_en
- F-Robotics Personal Robotics. (n.d.). Retrieved March 5, 2018, from <https://www.fp-robotics.com/en/>
- Factories 4.0 and Beyond. (2016). Retrieved from http://www.effa.eu/sites/default/files/factories40_beyond_v31_public.pdf
- Farming with robots | Robohub. (2016). Retrieved February 25, 2018, from <http://robohub.org/farming-with-robots/>
- FDA. (13 11 2017). FDA approves pill with sensor that digitally tracks if patients have ingested their medication אוחר מתוך FDA: <https://www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/PressAnnouncements/ucm584933.htm>
- Federal Aviation Administration. (2016). Unmanned Aircraft Systems אוחר מתוך Federal Aviation Administration: https://www.faa.gov/data_research/aviation/aerospace_forecasts/media/Unmanned_Aircraft_Systems.pdf
- Ferentinos, K. P. (2018). Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. Computers and Electronics in Agriculture, 145, 311–318. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2018.01.009>
- Fevzi Ozcekic, A. (2017). The Role of ChatBot in Industry 4.0 – Chatbot's Life. Retrieved March 8, 2018, from <https://chatbotlife.com/the-role-of-chatbot-in-industry-4-0-acf2b0ac8bb6>
- Gabe O'Connor, A' S'. (3 4 2017). How Russian Twitter Bots Pumped Out Fake News During The 2016 Election אוחר מתוך NPR: <https://www.npr.org/sections/alltechconsidered/2017/04/03/522503844/how-russian-twitter-bots-pumped-out-fake-news-during-the-2016-election>
- Galeon, D'. (24 1 2018). Uber CEO Says Flying Cars Are Only a Decade Away. (Futurism) 27 אוחר ב- <https://futurism.com/uber-ceo-flying-cars-only-decade-away/>, מתוך 2018
- Gagne, J.-F. (2018). Global AI Talent Pool Report. Retrieved from <http://www.jfgagne.ai/talent>
- Garrett MacDonald, J' M'. (17 5 2017). Power Protector: How Blockchains Can Bolster the Grid's Cyber-Defense. (RMI Outlet) אוחר ב- 26 2 2018, מתוך <https://www.rmi.org/news/power-protector-blockchains-can-bolster-grids-cyber-defense/>

- Gartner. (24 8 2017). Gartner Says Worldwide Wearable Device Sales to Grow 17 Percent in 2017 .
אוחזר מתוך Gartner: <https://www.gartner.com/newsroom/id/3790965>
- Gartner. (26 1 2015). Gartner Says By 2020, a Quarter Billion Connected Vehicles Will Enable New In-Vehicle Services and Automated Driving Capabilities .אוחזר מתוך Gartner:
<https://www.gartner.com/newsroom/id/2970017>
- Garun, N'. (30 8 2017). Almost half a million pacemakers need a firmware update to avoid getting hacked. (The Verge) מתוך ,2018 2 23 אוחזר ב- <https://www.theverge.com/2017/8/30/16230048/fda-abbott-pacemakers-firmware-update-cybersecurity-hack>
- Gerage, A'. (27 10 2016). Three Ways Machine Learning Will Disrupt Transportation. (Northwestern University) מתוך ,2018 2 28 אוחזר ב- <http://www.mccormick.northwestern.edu/news/articles/2016/10/three-ways-machine-learning-will-disrupt-transportation.html>
- Gershgorn, D'. (18 10 2016). Microsoft claims its speech transcription AI is now better than human professionals. (Quartz) מתוך ,2018 2 15 אוחזר ב- <https://qz.com/812317/microsoft-msft-claims-its-speech-transcription-ai-is-now-better-than-human-professionals/>
- Gibbs, S'. (20 11 2017). Uber plans to buy 24,000 autonomous Volvo SUVs in race for driverless future. (The Guardian) מתוך ,2018 2 19 אוחזר ב- <https://www.theguardian.com/technology/2017/nov/20/uber-volvo-suv-self-driving-future-business-ride-hailing-lyft-waymo>
- Global Industry Analysts, Inc. (9 2015). CCTV and Video Surveillance Systems Market Trends .אוחזר מתוך Global Industry Analysts, Inc.:
http://www.strategyr.com/MarketResearch/CCTV_Cameras_Video_Surveillance_Systems_Market_Trends.asp
- Goldstein, P'. (25 10 2017). What Is the Potential for AI in the Energy Industry? (BizTech) 2 24 אוחזר ב- ,2018 <https://biztechmagazine.com/article/2017/10/what-potential-ai-energy-industry> מתוך
- Goodin, D'. (27 10 2011). Insulin pump hack delivers fatal dosage over the air. (The Register) -אוחזר ב- ,2018 2 23 https://www.theregister.co.uk/2011/10/27/fatal_insulin_pump_attack/ מתוך
- Gorecky, D., Schmitt, M., Loskyll, M., & Zuhlke, D. (2014). Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. In 2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN) (pp. 289–294). IEEE. <https://doi.org/10.1109/INDIN.2014.6945523>
- Greene, T'. (2 3 2018). DeepMind's new robots learned how to teach themselves מתוך The Next Web: <https://thenextweb.com/artificial-intelligence/2018/03/02/deepminds-new-robots-learned-how-to-teach-themselves/>
- Greeneum. (2018). Greeneum. (Greeneum) מתוך ,2018 2 26 אוחזר ב- <https://www.greeneum.net/how-greeneum-works/>
- Greg Allen, T' C'. (2017). Artificial Intelligence and National Security. Belfer Center.
- Gugerty, L'. (2006). Newell and Simon's Logic Theorist: Historical Background and Impact on Cognitive Modeling. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 50.(9)
- Haldane, A' G'. (2015). Speech: Labour's Share. London.
- 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>
- Harris, D'. (17 3 2015). Google: Our new system for recognizing faces is the best one ever. Fortune. (Fortune) מתוך ,2018 2 15 אוחזר ב- <http://fortune.com/2015/03/17/google-facenet-artificial-intelligence/>

- Hawkins, A' J'. (12 12 2017). Not all of our self-driving cars will be electrically powered — here's why. (The Verge) מתוך <https://www.theverge.com/2017/12/12/16748024/self-driving-electric-hybrid-ev-av-gm-ford> אוחר ב- 24 2 2018
- HealthTap. (2018). HealthTap. (HealthTap) מתוך <https://www.crunchbase.com/organization/healthtap> אוחר ב- 23 2 2018
- Heng, T. S. P., Painter, M. W., Elpek, K., Lukacs-Kornek, V., Mauermann, N., Turley, S. J., ... Kang, J. (2008). The Immunological Genome Project: networks of gene expression in immune cells. *Nature Immunology*, 9(10), 1091–1094. <https://doi.org/10.1038/ni1008-1091>
- Hernandez, D'. (17 6 2013). Now You Can Build Google'S \$1m Artificial Brain On The Cheap. (WIRED) מתוך <https://www.wired.com/2013/06/andrew-ng/> אוחר ב- 15 2 2018
- Hoeckelmann, M., Rudas, I. J., Fiorini, P., Kirchner, F., & Haidegger, T. (2015). Current Capabilities and Development Potential in Surgical Robotics. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 12(5), 61. <https://doi.org/10.5772/60133>
- Hof, R' D'. (2014). Neuromorphic Chips. (MIT Technology Review) מתוך <https://www.technologyreview.com/s/526506/neuromorphic-chips/> אוחר ב- 20 2 2018
- Hofmann, E., & Rüsche, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34. <https://doi.org/10.1016/J.COMPIND.2017.04.002>
- Holger Ziekow, C' G'-A'. (2013). The potential of smart home sensors in forecasting household electricity demand. *Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, 2013 IEEE International Conference on. Vancouver: IEEE.
- Honkavaara, E., Saari, H., Kaivosoja, J., Pölönen, I., Hakala, T., Litkey, P., ... Pesonen, L. (2013). Processing and Assessment of Spectrometric, Stereoscopic Imagery Collected Using a Lightweight UAV Spectral Camera for Precision Agriculture. *Remote Sensing*, 5(12), 5006–5039. <https://doi.org/10.3390/rs5105006>
- How IBM And Microsoft Are Disrupting The Healthcare Industry With Cognitive Computing. (n.d.). Retrieved February 20, 2018, from <https://www.forbes.com/sites/janakirammsv/2017/01/03/how-ibm-and-microsoft-are-disrupting-the-healthcare-industry-with-cognitive-computing/#3bffc4b51a92>
- Howarth, B'. (28 11 2017). CMO: How virtual humans could transform the brand experience. (Soul Machines) מתוך <https://www.soulmachines.com/blog/2017/11/27/cmo-how-virtual-humans-could-transform-the-brand-experience> אוחר ב- 20 2 2018
- Hsieh, J.-C., Li, A.-H., & Yang, C.-C. (2013). Mobile, Cloud, and Big Data Computing: Contributions, Challenges, and New Directions in Telecardiology. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(12), 6131–6153. <https://doi.org/10.3390/ijerph10116131>
- Huang, Z'. (7 10 2015). Absolutely everywhere in Beijing is now covered by police video surveillance . מתוך Quartz: <https://qz.com/518874/absolutely-everywhere-in-beijing-is-now-covered-by-police-video-surveillance/> אוחר מתוך
- Hughes, D. P., & Salathe, M. (2015). An open access repository of images on plant health to enable the development of mobile disease diagnostics. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1511.08060>
- Hvistendahl, M'. (28 9 2016). Can 'predictive policing' prevent crime before it happens ? אוחר מתוך Science: <http://www.sciencemag.org/news/2016/09/can-predictive-policing-prevent-crime-it-happens>
- IBM. (2017). Healthcare rallies for blockchains. IBM.
- IDC. (17 3 2016). IDC Forecasts Worldwide Shipments of Wearables to Surpass 200 Million in 2019 . מתוך IDC: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS41100116> אוחר מתוך
- IDTechEx. (2017). Sensors for Robotics: Technologies, Markets and Forecasts 2017-2027 . IDTechEx.

- IHS Markit. (2017). The Internet of Things: a movement, not a market. IHS Markit.
- Indo-Asian News Service. (5 4 2016). Artificial Intelligence Used To Detect Rare Leukemia Type In Japan. (NDTV) מתוך <https://www.ndtv.com/health/artificial-intelligence-used-to-detect-rare-leukemia-type-in-japan-1440789>
- Industry 4.0 and cybersecurity Managing risk in an age of connected production. (2017). Retrieved from https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3749_Industry4-0_cybersecurity/DUP_Industry4-0_cybersecurity.pdf
- Industry 4.0 Challenges and Solutions for the Digital Transformation and Use of Exponential Technologies. (n.d.). Retrieved from <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>
- Intel. (2016). A Guide to the Internet of Things מתוך Intel: <http://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/images/iot/guide-to-iot-infographic.png>
- Intuitive Surgical. (2016). Intuitive Surgical, Inc. 2016 Annual Report. Retrieved from www.intuitivesurgical.com
- Intuitive Surgical. (2018). da Vinci® Surgery: Minimally Invasive Surgery. (Intuitive Surgical) מתוך <http://www.davincisurgery.com/>, 2018 2 22
- Ismail, N'. (14 6 2017). How can drones power the offshore oil and gas operations? (Information Age) מתוך <http://www.information-age.com/can-drones-power-offshore-oil-gas-operations-123466745/>, 2018 2 24
- James, M'. (20 3 2017). Here's how Bill Gates' plan to tax robots could actually happen. (Business Insider) מתוך <http://www.businessinsider.com/bill-gates-robot-tax-brighter-future-2017-3>, 2018 2 13
- Jansen, C., & Jeschke, S. (2018). Mitigating risks of digitalization through managed industrial security services. *AI & SOCIETY*, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s00146-018-0812-1>
- 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>
- John Paparrizos, R' W'. (2016). Screening for Pancreatic Adenocarcinoma Using Signals From Web Search Logs: Feasibility Study and Results. *Journal of Oncology Practice*, 12(8), 737-744.
- Johnson, K'. (13 6 2016). People are reporting crimes to this chatbot — but it's not a police officer . מתוך VentureBeat: <https://venturebeat.com/2016/06/13/people-are-reporting-crimes-to-this-chatbot-but-its-not-a-police-officer/>
- Johnson, N. (2016). Imaging, Navigation, and Robotics in Spine Surgery. *SPINE*, 41, S32. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000001437>
- Johnson, R' C'. (18 2 2015). Microsoft, Google Beat Humans at Image Recognition. (EE Times) מתוך https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1325712, 2018 2 15
- Joseph, J. R., Smith, B. W., Liu, X., & Park, P. (2017). Current applications of robotics in spine surgery: a systematic review of the literature. *Neurosurgical Focus*, 42(5), E2. <https://doi.org/10.3171/2017.2.FOCUS16544>
- Joshi, N. (2017). Blockchain meets industry 4.0 - what happened next? Retrieved March 8, 2018, from <https://www.allerin.com/blog/5659-2>
- Kanoun, O'. (2005). Sensor technology advances and future trends. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 53(6), 1497 - 1501.

- Kellner, T'. (27 9 2015). Wind in the Cloud? How the Digital Wind Farm Will Make Wind Power 20 Percent More Efficient אוחר מתוך GE Reports: <https://www.ge.com/reports/post/119300678660/wind-in-the-cloud-how-the-digital-wind-farm-will-2/>
- Kelly, K. (2014). The three breakthroughs that have finally unleashed ai on the world. Wired Magazine. Retrieved from <http://www.wired.com/2014/10/future-of-artificial-intelligence>
- Knight, W'. (14 3 2017). The U.S. Military Wants Its Autonomous Machines to Explain Themselves . אוחר מתוך MIT Technology Review: <https://www.technologyreview.com/s/603795/the-us-military-wants-its-autonomous-machines-to-explain-themselves>
- Koerner, B' I'. (23 10 2016). Inside the Cyberattack That Shocked the US Government אוחר מתוך WIRED: <https://www.wired.com/2016/10/inside-cyberattack-shocked-us-government/>
- Kulatunga, C., Shalloo, L., Donnelly, W., Robson, E., & Ivanov, S. (2017). Opportunistic Wireless Networking for Smart Dairy Farming. IT Professional, 19(2), 16–23. <https://doi.org/10.1109/MITP.2017.28>
- Kun Joong Kim, B' H'. (2016). Micro solid oxide fuel cell fabricated on porous stainless steel: a new strategy for enhanced thermal cycling ability. Scientific Reports, 6.
- Kushner, D'. (2013). The Real Story of Stuxnet. IEEE Spectrum.
- Laclau, B'. (2017). Why the energy sector must embrace blockchain now. (Ernst & Young) אוחר ב-26 מתוך <https://betterworkingworld.ey.com/digital/blockchain-s-potential-win-for-the-energy-sector>
- Lade, P., Ghosh, R., & Srinivasan, S. (2017). Manufacturing Analytics and Industrial Internet of Things. IEEE Intelligent Systems, 32(3), 74–79. <https://doi.org/10.1109/MIS.2017.49>
- LaMonica, M'. (14 6 2012). Not Afraid of Heights, Robot Inspects Wind Turbine. (MIT Technology Review) אוחר ב-24 2018 מתוך <https://www.technologyreview.com/s/428214/not-afraid-of-heights-robot-inspects-wind-turbine/>
- Lang, N'. (17 10 2017). Making Autonomous Vehicles a Reality: Mobility in 21st-Century Boston Localized. (BCG) אוחר ב-19 2018 מתוך <https://www.bcg.com/publications/2017/automotive-making-autonomous-vehicles-a-reality.aspx>
- Laratta, J. L., Shillingford, J. N., Lombardi, J. M., Alrabaa, R. G., Benkli, B., Fischer, C., ... Lehman, R. A. (2018). Accuracy of S2 Alar-Iliac Screw Placement Under Robotic Guidance. Spine Deformity, 6(2), 130–136. <https://doi.org/10.1016/j.jspd.2017.08.009>
- Leary, K'. (27 9 2017). Matternet Is Expanding Drone Delivery to Hospitals in Switzerland. (Futurism) אוחר ב-22 2018 מתוך <https://futurism.com/matternet-is-expanding-drone-delivery-to-hospitals-in-switzerland/>
- 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.krcp.2017.36.1.3>
- Lee, E.-J., Kim, Y.-H., Kim, N., & Kang, D.-W. (2017). Deep into the Brain: Artificial Intelligence in Stroke Imaging. Journal of Stroke, 19(3), 277–285. <https://doi.org/10.5853/jos.2017.02054>
- Lei, K. P., & Ur, W. (2016). Big opportunities for big data in food and agriculture. Retrieved from https://www.oecd.org/tad/events/Session_2_Krijn_Poppe_OECD_Big_Data.pdf
- Levy, H' P'. (18 10 2016). Gartner Predicts a Virtual World of Exponential Change. (Gartner) אוחר ב-20 2018 מתוך <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-predicts-a-virtual-world-of-exponential-change/>
- Liquid Robotics. (12 12 2016). Unmanned Surface Vehicles Are Here to Stay in the Oil & Gas Industry. (Liquid Robotics) אוחר ב-24 2018 מתוך <https://www.liquid-robotics.com/blog/unmanned-surface-vehicles-stay-oil-gas-industry/>

- Liu, D.-Y., Gan, T., Rao, N.-N., Xing, Y.-W., Zheng, J., Li, S., ... Wan, Y.-L. (2016). Identification of lesion images from gastrointestinal endoscope based on feature extraction of combinational methods with and without learning process. *Medical Image Analysis*, 32, 281–294. <https://doi.org/10.1016/j.media.2016.04.007>
- Lockett, J'. (15 6 2017). US military will have more combat robots than human soldiers by 2025 . אוחר ב- New York Post: <https://nypost.com/2017/06/15/us-military-will-have-more-combat-robots-than-human-soldiers-by-2025/>
- Lu, Y., Yi, S., Zeng, N., Liu, Y., & Zhang, Y. (2017). Identification of rice diseases using deep convolutional neural networks. *Neurocomputing*, 267, 378–384. <https://doi.org/10.1016/J.NEUCOM.2017.06.023>
- Lynch, S'. (14 3 2017). Andrew Ng: Why AI is the new electricity. (Stanford News) ,2018 2 9 אוחר ב- <https://news.stanford.edu/thedish/2017/03/14/andrew-ng-why-ai-is-the-new-electricity/>
- Ma, C., Zhang, H. H., & Wang, X. (2014). Machine learning for Big Data analytics in plants. *Trends in Plant Science*, 19(12), 798–808. <https://doi.org/10.1016/J.TPLANTS.2014.08.004>
- Macfarlane, A'. (9 6 2017). Google sells maker of 'nightmare-inducing' robots to Japan's SoftBank . אוחר ב- CNN: <http://money.cnn.com/2017/06/09/technology/boston-dynamics-robots-google-alphabet-softbank/index.html>
- Madhwal, Y., & Panfilov, P. B. (2017). Association for Information Systems AIS Electronic Library (AISeL) Industrial Case: Blockchain on Aircraft' s Parts Supply Chain Management Industrial Case: Blockchain on Aircraft's Parts Supply Chain Management. Retrieved from <http://aisel.aisnet.org/sigbd2017>
- Maksymova, S., Matarneh, R., Lyashenko, V. V, & Belova, N. V. (2017). Voice Control for an Industrial Robot as a Combination of Various Robotic Assembly Process Models. *Journal of Computer and Communications*, 5(4), 1–15. <https://doi.org/10.4236/jcc.2017.511001>
- Maloney, P'. (14 3 2017). UK's National Grid eyes Google AI unit to balance power supply and demand. (Utility Dive) מתוך ,2018 2 24 אוחר ב- <https://www.utilitydive.com/news/uks-national-grid-eyes-google-ai-unit-to-balance-power-supply-and-demand/437981/>
- Marian Stewart Bartlett, M' S'. (2014). Automatic Decoding of Facial Movements Reveals Deceptive Pain Expressions. *Current Biology*, 24(7), 738 - 743.
- Markets and Markets. (2018). Affective Computing Market worth 53.98 Billion USD by 2021. (Markets and Markets) אוחר ב- ,2018 2 20 מתוך <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/affective-computing.asp>
- Markets and Markets. (2018). Intelligent Virtual Assistant Market worth 17.72 Billion USD by 2023. (Markets and Markets) אוחר ב- ,2018 2 20 מתוך <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/intelligent-virtual-assistant.asp>
- Markow, W., Braganza, S., Taska, B., Hughes, D., & Miller, S. (2017). The Quant Crunch. Retrieved from <https://www-01.ibm.com/common/ssi/cgi-bin/ssialias?htmlfid=IML14576USEN>
- Marr, B'. (16 10 2017). The 4 Ds Of Robotization: Dull, Dirty, Dangerous And Dear. (Forbes) אוחר ב- ,2018 2 15 <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2017/10/16/the-4-ds-of-robotization-dull-dirty-dangerous-and-dear/#3cde07e33e0d>
- Martens, J. H. A., & Stunnenberg, H. G. (2013). BLUEPRINT: mapping human blood cell epigenomes. *Haematologica*, 98(10), 1487–1489. <https://doi.org/10.3324/haematol.2013.094243>
- McCorduck, P'. (2004). *Machines Who Think: 25th anniversary edition*. AK Peters.

- McFarland, M'. (11 10 2017). DHL to test self-driving delivery trucks in 2018. (CNN Tech) 2 27 אוחר ב-
 מתוך <http://money.cnn.com/2017/10/11/technology/future/dhl-autonomous-delivery-truck/index.html>
- McKinsey Global Institute. (2017). A future that works: Automation, employment, and productivity. McKinsey Global Institute.
- McKinsey Global Institute. (2017). Jobs Lost, Jobs Gained: Workforce Transitions In A Time Of Automation. McKinsey Global Institute אוחר מתוך .
<https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Global%20Themes/Future%20of%20Organizations/What%20the%20future%20of%20work%20will%20mean%20for%20jobs%20skills%20and%20wages/MGI-Jobs-Lost-Jobs-Gained-Report-December-6-2017.ashx>
- Melendez, S'. (12 6 2017). The Rise Of The Robots: What The Future Holds For The World's Armies . אוחר מתוך Fast Company: <https://www.fastcompany.com/3069048/where-are-military-robots-headed>
- Metz, C. (2017). Tech Giants Are Paying Huge Salaries for Scarce A.I. Talent. The New York Times. Retrieved from https://www.nytimes.com/2017/10/22/technology/artificial-intelligence-experts-salaries.html?utm_source=CB+Insights+Newsletter&utm_campaign=da1d6cecfa-WedNL_10_25_2017&utm_medium=email&utm_term=0_9dc0513989-da1d6cecfa-88096205
- Mezni, M. (2018). Blockchain, and Industry 4.0: a closer look - Decentral Magazine. Retrieved March 8, 2018, from <https://en.decentral.news/2018/01/26/blockchain-industry-4-0/>
- Mizokami, K'. (5 2 2018). The U.S. Navy Just Got the World's Largest Uncrewed Ship אוחר מתוך . Popular Mechanics: <https://www.popularmechanics.com/military/navy-ships/a16573306/navy-accept-delivery-actuv-sea-hunter/>
- MKinsey & Company. (2015). A Labor Market That Works. MKinsey & Company.
- Modern Agriculture. (2017). How Artificial Intelligence Can Help Farmers Produce Crops. Retrieved from <https://modernag.org/innovation/artificial-intelligence-helps-farmers-produce-crops/>
- Molteni, M'. (7 6 2017). The Chatbot Therapist Will See You Now. (WIRED) מתוך ,2018 2 20 אוחר ב-
<https://www.wired.com/2017/06/facebook-messenger-woebot-chatbot-therapist/>
- Morgan, S'. (13 5 2016). Top 5 Industries At Risk Of Cyber-Attacks. (Forbes) מתוך ,2018 2 23 אוחר ב-
<https://www.forbes.com/sites/stevemorgan/2016/05/13/list-of-the-5-most-cyber-attacked-industries/#4cf87e60715e>
- Mori, Y., Kudo, S., Berzin, T., Misawa, M., & Takeda, K. (2017). Computer-aided diagnosis for colonoscopy. Endoscopy, 49(8), 813–819. <https://doi.org/10.1055/s-0043-109430>
- Moshou, D., Bravo, C., Oberti, R., West, J. S., Ramon, H., Vougioukas, S., & Bochtis, D. (2011). Intelligent multi-sensor system for the detection and treatment of fungal diseases in arable crops. Biosystems Engineering, 108(4), 311–321.
<https://doi.org/10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2011.01.003>
- Mount, M'. (21 4 2009). Hackers stole data on Pentagon's newest fighter jet אוחר מתוך CNN: <http://www.cnn.com/2009/US/04/21/pentagon.hacked/>
- Murphy, C'. (20 9 2017). How A Huge Utility Is Innovating With Chatbots For Better Customer Connections. (Forbes) מתוך ,2018 2 25 אוחר ב-
<https://www.forbes.com/sites/oracle/2017/09/20/how-a-huge-utility-is-innovating-with-chatbots-for-better-customer-connections/#243637f65415>
- Nathaniel Popper, S' L'. (4 3 2017). Blockchain: A Better Way to Track Pork Chops, Bonds, Bad Peanut Butter? (The New York Times) מתוך ,2018 3 3 אוחר ב-
<https://mobile.nytimes.com/2017/03/04/business/dealbook/blockchain-ibm-bitcoin.html>

- National Academy of Sciences. (2018). The Frontiers of Machine Learning: 2017 Raymond and Beverly Sackler U.S.-U.K. Scientific Forum. National Academy of Sciences.
- National Oilwell Varco. (2018). Iron Roughnecks. (National Oilwell Varco) מתוך https://www.nov.com/Segments/Rig_Systems/Offshore/Iron_Roughnecks.aspx אוחר ב- 24 2 2018
- New America. (2017). A Next Generation Artificial Intelligence Development Plan. New America.
- New York Times. (13 7 1958). Electronic 'Brain' Teaches Itself. (New York Times) ,2018 2 15 אוחר ב- <http://www.nytimes.com/1958/07/13/archives/electronic-brain-teaches-itself.html> מתוך
- Nicolaus, H., Bughin, J., Chui, M., Manyika, J., Saleh, T., Wiesman, B., & Sethupathy, G. (2016). The age of analytics: Competing in a data-driven world. McKinsey Global Institute, (December), 136. <https://doi.org/10.1111/bjet.12230>
- Noyes Katherine. (2014). Big data poised to change the face of agriculture | Fortune. Retrieved February 22, 2018, from <http://fortune.com/2014/05/30/cropping-up-on-every-farm-big-data-technology/>
- Open AI. (11 8 2017). Dota 2 מתוך .Open AI: <https://blog.openai.com/dota-2/>
- Panasonic's Autonomous Delivery Robot - HOSPI(R) - Receives the International Safety Standard ISO 13482 as well as the First Certification under the New JIS Safety Standards | Panasonic Newsroom Global. (2016). Retrieved February 21, 2018, from <http://news.panasonic.com/global/topics/2016/45099.html>
- Panetta, K'. (15 8 2017). Top Trends in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017. (Gartner) מתוך <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017/> אוחר ב- 19 2 2018
- Parkin, S'. (29 11 2017). AI Is Dreaming Up New Kinds of Video Games מתוך MIT Technology Review: <https://www.technologyreview.com/s/609482/ai-is-dreaming-up-new-kinds-of-video-games/>
- PARO. (2014). PARO Therapeutic Robot. (PARO) מתוך <http://www.parorobots.com/> אוחר ב- 23 2 2018
- Paten, B., Diekhans, M., Druker, B. J., Friend, S., Guinney, J., Gassner, N., ... Haussler, D. (2015). The NIH BD2K center for big data in translational genomics. Journal of the American Medical Informatics Association, 22(6), 1143–1147. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocv047>
- Peleg, R'. (8 2 2016). Graphenano and Grabat launch graphene-based batteries. (Graphene-Info) מתוך <https://www.graphene-info.com/graphenano-and-grabat-launch-graphene-based-batteries> אוחר ב- 15 2 2018
- Peters, B. S., Armijo, P. R., Krause, C., Choudhury, S. A., & Oleynikov, D. (2018). Review of emerging surgical robotic technology. Surgical Endoscopy, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s00464-018-6079-2>
- Petrova, M'. (16 2 2018). This self-driving ship could be the future of military warfare מתוך CNBC: <https://www.cnbc.com/2018/02/16/the-sea-hunter-autonomous-ship-could-be-the-future-of-military-warfare.html>
- Petrova, M'. (20 10 2016). This disinfection robot can light the way to cleaner hospitals. (PC World) מתוך <https://www.pcworld.idg.com.au/article/608842/disinfection-robot-can-light-way-cleaner-hospitals/> אוחר ב- 22 2 2018
- Pew Research Center. (2014). AI, Robotics, and the Future of Jobs. Pew Research Center.
- Planetary Resources. (2018). Providing Resources to Fuel Industry and Sustain Life in Space. (Planetary Resources) מתוך <https://www.planetaryresources.com/> אוחר ב- 24 2 2018
- Ponciano, J'. (22 9 2017). Blockchain Tops \$4.5 Billion In Private Funding This Year, But Deal Growth Stalls. (Forbes) מתוך ,2018 2 16 אוחר ב-

- <https://www.forbes.com/sites/jonathanponciano/2017/09/22/blockchain-tops-4-5-billion-in-private-funding-this-year-but-deal-growth-stalls/#6fe7158474c6>
- Prameetha Pai, & Amutha S. (2017). A Review on Image Processing in Plant Disease Detection | Machine Learning | Agriculture. Retrieved February 25, 2018, from <https://www.scribd.com/document/354761513/A-Review-on-Image-Processing-in-Plant-Disease-Detection>
- Press, G. (2015). The Supply And Demand Of Data Scientists : What The Surveys Say. *MIT Sloan Management Review*.
- PWC. (2017). Will robots steal our jobs? The potential impact of automation on the UK and other major economies1. PWC.
- Quach, K'. (17 11 2016). Google's neural network learns to translate languages it hasn't been trained on. (The Register) אוחר ב- 15 2 2018, מתוך https://www.theregister.co.uk/2016/11/17/googles_neural_net_translates_languages_not_trained_on/
- Quality control - IT+Robotics. (n.d.). Retrieved March 6, 2018, from <http://www.it-robotics.it/products/quality-control/?lang=en>
- Quoc V. Le, M' R'. (2012). Building high-level features using large scale unsupervised learning. arXiv.org.
- Reuters. (5 6 2017). BP, Eni deepen blockchain trading in European gas. (Reuters) 2 26 אוחר ב- 2018, מתוך <https://www.reuters.com/article/us-bp-eni-blockchain/bp-eni-deepen-blockchain-trading-in-european-gas-idUSKBN18W1N2>
- ReWalk. (2018). ReWalk. (ReWalk) אוחר ב- 22 2 2018, מתוך <http://rewalk.com/>
- Risen, T'. (15 7 2016). Electronic Tattoos Offer Convenience to Medical Tech אוחר מתוך U.S. News: <https://www.usnews.com/news/articles/2016-07-15/electronic-tattoos-are-the-next-wearable-trend>
- Robotics Business Review. (2015). Healthcare Robotics 2015-2020: Trends, Opportunities & Challenges. Robotics Business Review.
- Rockwell, Fanuc and Cisco use AI to optimise production - Drives and Controls Magazine. (2016). Retrieved March 5, 2018, from http://drivesncontrols.com/news/fullstory.php/aid/5091/Rockwell,_Fanuc_and_Cisco_use_AI_to_optimise_production.html?current_page=1
- Rogers, J'. (1 9 2016). Robot patrol: Israeli Army to deploy autonomous vehicles on Gaza border . אוחר מתוך Fox News: <http://www.foxnews.com/tech/2016/09/01/robot-patrol-israeli-army-to-deploy-autonomous-vehicles-on-gaza-border.html>
- 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>
- Ruckelshausen, A., Biber, P., Dorna, M., Gremmes, H., Klose, R., Linz, A., ... Weiss, U. (2009). BoniRob: An autonomous field robot platform for individual plant phenotyping (pp. 841–847). Retrieved from <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84885662650&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=%22plant+disease%22+and+%22robotics%22&st2=&sid=7f55e0ade65ad0b23a2c2c700c76e4d1&sot=b&sdt=b&sl=45&s=TITLE-ABS-KEY%28%22plant+disease%22+and+%22robotics%22%29&relpos=15&citeCnt=37&searchTerm=>
- Sage, A'. (8 1 2018). Nvidia partners with Uber, Volkswagen in self-driving technology. (Reuters) אוחר מתוך <https://uk.reuters.com/article/us-tech-ces-nvidia/nvidia-partners-with-uber-volkswagen-in-self-driving-technology-idUKKBN1EX0B8>

- Sahoo, P. K., Mohapatra, S. K., & Wu, S.-L. (2016). Analyzing Healthcare Big Data With Prediction for Future Health Condition. *IEEE Access*, 4, 9786–9799.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2647619>
- Salama, J'. (2 3 2018). Blockchain will work in trucking — but only if these three things happen. (TechCrunch) מתוך <https://techcrunch.com/2018/03/02/blockchain-will-work-in-trucking-but-only-if-these-three-things-happen/> ,2018 3 3 אוחר ב-
- Savoie, M'. (20 11 2015). The state of telepresence: Healthcare and telemedicine. (RoboHub) אוחר ב- מתוך <http://robohub.org/the-state-of-telepresence-healthcare-and-telemedicine/> ,2018 2 22
- Schor, N., Berman, S., Dombrovsky, A., Elad, Y., Ignat, T., & Bechar, A. (2017). Development of a robotic detection system for greenhouse pepper plant diseases. *Precision Agriculture*, 18(3), 394–409. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9503-z>
- Scott Spangler, A' D . (אין תאריך). 'Automated Hypothesis Generation Based on Mining Scientific Literature . Scholar.harvard.edu.
- Šekoranja, B., Bašić, D., Švaco, M., Šuligoj, F., & Jerbić, B. (2014). Human-Robot Interaction Based on Use of Capacitive Sensors. *Procedia Engineering*, 69, 464–468.
<https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2014.03.013>
- Sennaar, K'. (14 9 2017). How America's Top 4 Insurance Companies are Using Machine Learning. (Tech Emergence) מתוך <https://www.techemergence.com/machine-learning-at-insurance-companies/> ,2018 2 28 אוחר ב-
- Sensely. (2018). Sensely. (Sensely) מתוך <http://www.sensely.com/> אוחר ב- 2018 2 23
- Seung, S., Choi, H., Jang, J., Kim, Y. S., Park, J.-O., Park, S., & Ko, S. Y. (2017). Virtual wall-based haptic-guided teleoperated surgical robotic system for single-port brain tumor removal surgery. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part H, Journal of Engineering in Medicine*, 231(1), 3–19. <https://doi.org/10.1177/0954411916676218>
- Shoham, Y., Perrault, R., Brynjolfsson, E., Clark, J., & LeGassick, C. (2017). Artificial Intelligence Index, November 2017. Retrieved from <https://aiindex.org/>
- Shrouf, F., Ordieres, J., & Miragliotta, G. (2014). Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm. In 2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (pp. 697–701). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2014.7058728>
- Sikorski, J. J., Haughton, J., & Kraft, M. (2017). Blockchain technology in the chemical industry: Machine-to-machine electricity market Blockchain-based electricity market. *Applied Energy*, 195, 234–246. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.039>
- Singh, A., Ganapathysubramanian, B., Singh, A. K., & Sarkar, S. (2016). Machine Learning for High-Throughput Stress Phenotyping in Plants. *Trends in Plant Science*, 21(2), 110–124.
<https://doi.org/10.1016/J.TPLANTS.2015.10.015>
- Singh, G., Schulthess, D., Hughes, N., Vannieuwenhuysse, B., & Kalra, D. (2017). Real world big data for clinical research and drug development. *Drug Discovery Today*.
<https://doi.org/10.1016/J.DRUDIS.2017.12.002>
- SkillsFuture. (2 2 2018). SkillsFuture: 2017 Year in Review. (SkillsFuture) מתוך <http://www.skillsfuture.sg/NewsAndUpdates/DetailPage/f1c05718-fe65-4d2d-b468-742a6fde190d> אוחר ב- 2018 2 10
- Sladojevic, S., Arsenovic, M., Anderla, A., Culibrk, D., & Stefanovic, D. (2016). Deep Neural Networks Based Recognition of Plant Diseases by Leaf Image Classification.
<https://doi.org/10.1155/2016/3289801>

- South China Morning Post. (22 9 2017). In China, Robot Dentists Are Implanting 3-D Printed Teeth. (MIT Technology Review) מתוך <https://www.technologyreview.com/the-download/608935/in-china-robot-dentists-are-implanting-3-d-printed-teeth/>
- Statista. (2018). Size of the Internet of Things market worldwide in 2014 and 2020, by industry (in billion U.S. dollars) מתוך Statista: <https://www.statista.com/statistics/512673/worldwide-internet-of-things-market/>
- Stephen F. Weng, J' R'. (2017). Can machine-learning improve cardiovascular risk prediction using routine clinical data? PLoS ONE, 12.(4)
- Sun, L'. (18 1 2016). Internet of Things in 2016: 6 Stats Everyone Should Know מתוך The Motley Fool: <http://www.fool.com/investing/general/2016/01/18/internet-of-things-in-2016-6-stats-everyone-should.aspx>
- Suzuki, K. (2017). Overview of deep learning in medical imaging. Radiological Physics and Technology, 10(3), 257–273. <https://doi.org/10.1007/s12194-017-0406-5>
- Tasevski, J., Nikolić, M., & Mišković, D. (2013). Integration of an Industrial Robot with the Systems for Image and Voice Recognition. SERBIAN JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING, 10(1), 219–230. <https://doi.org/10.2298/SJEE1301219T>
- Telefonica. (2013). Connected Car Industry Report 2013. London: Telefonica.
- Terdiman, D'. (1 12 2015). Inside The Hack Rod, The World's First AI-Designed Car מתוך Fast Company: <https://www.fastcompany.com/3054028/inside-the-hack-rod-the-worlds-first-ai-designed-car>
- The Aspen Institute. (2017). Is your city getting ready for AVs? . (The Aspen Institute) 2 19 מתוך <https://avsincities.bloomberg.org/>
- Thomas, A'. (1 2 2018). Budget 2018: Niti Aayog to establish National Programme on Artificial Intelligence מתוך The Economic Times: <https://economictimes.indiatimes.com/small-biz/startups/newsbuzz/budget-2018-niti-aayog-to-establish-national-programme-on-artificial-intelligence/articleshow/62738713.cms>
- Tilley Jonathan. (2017). Automation, robotics, and the factory of the future | McKinsey & Company. Retrieved March 6, 2018, from <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/automation-robotics-and-the-factory-of-the-future>
- Tilley, A'. (18 9 2017). Deep Learning Could Finally Make Robots Useful מתוך Forbes: <https://www.forbes.com/sites/aarontilley/2017/09/18/skymind-deep-learning-tool-robots/#2ae667467e66>
- Tractica. (21 8 2017). Natural Language Processing Market to Reach \$22.3 Billion by 2025. (Tractica) מתוך <https://www.tractica.com/newsroom/press-releases/natural-language-processing-market-to-reach-22-3-billion-by-2025/>
- Trevithick, J'. (28 9 2017). The US Navy Has Created Its First Ever Underwater Drone Squadron מתוך The Drive: <http://www.thedrive.com/the-war-zone/14733/the-us-navy-has-created-its-first-ever-underwater-drone-squadron>
- Tucker, P'. (8 11 2017). Russia Says It Will Field a Robot Tank that Outperforms Humans מתוך Defense One: <http://www.defenseone.com/technology/2017/11/russia-robot-tank-outperforms-humans/142376/>
- Tzezana, R'. (2016). Scenarios for crime and terrorist attacks using the internet of things. European Journal of Futures Research, 4.(18)
- Tzezana, R'. (2017). High-probability and wild-card scenarios for future crimes and terror attacks using the Internet of Things. Foresight, 19(1), 1 - 14.

- U.S. Energy Department. (2017). Transforming The Nation'S Electricity System. U.S. Energy Department.
- UAE. (2017). Mohammed Bin Rashid Launches Five-Decade Government Plan 'Uae Centennial 2071'. United Arab Emirates - The Cabinet: <https://uaecabinet.ae/en/details/news/mohammed-bin-rashid-launches-five-decade-government-plan-uae-centennial-2071>
- UCSF. (7 3 2011). New UCSF Robotic Pharmacy Aims to Improve Patient Safety. (UCSF) 22 אוחר ב- מתוך <https://www.ucsf.edu/news/2011/03/9510/new-ucsf-robotic-pharmacy-aims-improve-patient-safety>, 2018 2
- Uddin, M. A., Mansour, A., Jeune, D. Le, Ayaz, M., & Aggoune, el-H. M. (2018). UAV-Assisted Dynamic Clustering of Wireless Sensor Networks for Crop Health Monitoring. *Sensors*, 18(2), 555. <https://doi.org/10.3390/s18020555>
- Upturn. (2016). Stuck in a Pattern. Upturn.
- Vadera, S., Chan, A., Lo, T., Gill, A., Morenkova, A., Phielipp, N. M., ... Hsu, F. P. K. (2017). Frameless Stereotactic Robot-Assisted Subthalamic Nucleus Deep Brain Stimulation: Case Report. *World Neurosurgery*, 97, 762.e11-762.e14. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2015.11.009>
- Value-Based Healthcare: Using Predictive Analytics to Forecast Risk and Outcomes - Watson Health Perspectives. (n.d.). Retrieved February 19, 2018, from <https://www.ibm.com/blogs/watson-health/value-based-healthcare-using-predictive-analytics-forecast-risk-outcomes/>
- 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>
- Vincent, J'. (11 10 2016). Baidu launches medical chatbot to help Chinese doctors diagnose patients. (The Verge) מתוך <https://www.theverge.com/2016/10/11/13240434/baidu-medical-chatbot-china-melody>, 2018 2 23 אוחר ב-
- Wan, J., Tang, S., Hua, Q., Li, D., Liu, C., & Lloret, J. (2017). Context-Aware Cloud Robotics for Material Handling in Cognitive Industrial Internet of Things. *IEEE Internet of Things Journal*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2728722>
- Wang, J., Ma, Y., Zhang, L., Gao, R. X., & Wu, D. (2018). Deep learning for smart manufacturing: Methods and applications. *Journal of Manufacturing Systems*. <https://doi.org/10.1016/J.JMSY.2018.01.003>
- Wang, S., Zhang, C., Liu, C., Li, D., & Tang, H. (2017). Cloud-assisted interaction and negotiation of industrial robots for the smart factory. *Computers & Electrical Engineering*, 63, 66–78. <https://doi.org/10.1016/J.COMPELECENG.2017.05.025>
- Warmflash, D'. (29 3 2017). Beaming solar energy from the Moon could solve Earth's energy crisis. (WIRED) מתוך <http://www.wired.co.uk/article/moon-solar-energy-power>, 2018 2 24 אוחר ב-
- Wendy Hall, J' P'. (2017). Growing the artificial intelligence industry in the UK. Department for Digital, Culture, Media & Sport and Department for Business, Energy & Industrial Strategy.
- Wiercinski, J'. (1 2 2015). Bot to school: Injured Commodore Perry teen uses technology to go to classes. (The Herald) מתוך http://www.sharonherald.com/news/local_news/bot-to-school-injured-commodore-perry-teen-uses-technology-to/article_57cf7570-d87c-5584-8ad1-da6605aeef4d.html, 2018 2 22 אוחר ב-
- Williams, B'. (19 6 2017). Dubai's flying taxidrones to begin trials in late 2017. (Mashable) 2 19 אוחר ב- מתוך https://mashable.com/2017/06/19/dubai-autonomous-taxi-service-scheduled/#W3NIvaMw_5q3

- Winter, D. R. (2018). Thinking BIG rheumatology: how to make functional genomics data work for you. *Arthritis Research & Therapy*, 20(1), 29. <https://doi.org/10.1186/s13075-017-1504-9>
- Woebot. (2017). Woebot. (Woebot) מתוך <https://woebot.io/>, 2018 2 23
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.-J. (2017). Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
- Woods Hole Oceanographic Institution. (אין תאריך). REMUS מתוך Woods Hole Oceanographic Institution: <http://www.whoi.edu/main/remus>
- Woody, T'. (19 11 2012). How Robots Are Making Solar Power Cheaper. (Forbes), 2018 2 24 מתוך <https://www.forbes.com/sites/toddwoody/2012/10/31/how-robots-are-making-solar-power-cheaper/#580a5eed31a7>
- Woody, T'. (5 11 2013). The Key to Cheap Renewable Energy? Robots. (The Atlantic) 2 24 מתוך <https://www.theatlantic.com/technology/archive/2013/11/the-key-to-cheap-renewable-energy-robots/281139/>
- World Energy Council. (2016). World Energy Perspectives: The road to resilience | 2016 - Managing Cyber Risks. World Energy Council.
- Yi Lu Murphey, Masrur, M. A., ZhiHang Chen, & Baifang Zhang. (2006). Model-based fault diagnosis in electric drives using machine learning. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 11(3), 290–303. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2006.875568>
- Yildirim, P., Birant, D., & Alpyildiz, T. (2018). Data mining and machine learning in textile industry. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 8(1), e1228. <https://doi.org/10.1002/widm.1228>
- Your.MD. (2017). Your.MD. (Your.MD) מתוך <https://www.your.md/>, 2018 2 23
- Yuki Kato, S' H'. (2016). High-power all-solid-state batteries using sulfide superionic conducto. *Nature Energy*, 1.
- Zenko, M'. (12 1 2016). Obama's Embrace of Drone Strikes Will Be a Lasting Legacy מתוך The New York Times: <https://www.nytimes.com/roomfordebate/2016/01/12/reflecting-on-obamas-presidency/obamas-embrace-of-drone-strikes-will-be-a-lasting-legacy>
- Zetter, K'. (2016). Inside The Cunning, Unprecedented Hack Of Ukraine'S Power Grid. (WIRED) מתוך <https://www.wired.com/2016/03/inside-cunning-unprecedented-hack-ukraines-power-grid/>, 2018 2 25
- Zimberoff, L'. (6 2 2018). Why Machine Learning Is a Delivery Driver's Best Friend. (Fortune) מתוך <http://fortune.com/2018/02/06/machine-learning-delivery-driver/>, 2018 2 28
- Zion Market Research. (12 4 2017). Smart Home Market Size & Share will hit \$53.45 Billion by 2022 . Zion Market Research: <https://globenewswire.com/news-release/2017/04/12/959610/0/en/Smart-Home-Market-Size-Share-will-hit-53-45-Billion-by-2022.html>
- בריק, ש' מ'. (2015). דוח מצב המדינה 2015 - מקצועות בסיכון: מגמות המחשוב בשוק העבודה בישראל. מרכז טאוב.
- גן-אל, א. (2018, March 5). המדריך המעודכן למהפכה הטכנולוגית הגדולה - גלובס Retrieved from <https://www.globes.co.il/news/article.aspx?did=1001226310>
- גן-אל, א. (February 22, 2018). יש מלחמה על עובדים בתחום ה-AI. גלובס. Retrieved from <https://www.globes.co.il/news/article.aspx?did=1001224848>
- נקרט, א. (October 29, 2017). הענקיות מחפשות מומחי AI בישראל - ולא מוצאות. כלכליסט. Retrieved from <https://www.calcalist.co.il/internet/articles/0,7340,L-3723729,00.html>
- לוי, ג'. (2017 3 15). מי תקף את מחשבי חברת החשמל. (Ynet) מתוך <https://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-4935672,00.html>, 2018 2 25

צזנה, ר'. (2017). השולטים בעתיד: הון-שלטון, טכנולוגיה, תקווה. כינרת זמורה.

נספח 2: סקר ספרות בנושאי הון אנושי

סוגיית כוח האדם הנדרש לתמיכה בנושאי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה מעסיקה גופים ממשלתיים כמו גם גופים פרטיים רבים בעולם. סקר ספרות זה מרכז נתונים עדכניים הנוגעים הן למיומנויות והן להיקפים הנדרשים מן העובדים העתידיים בתחום על פי מחקרים שבוצעו לאחרונה.

◀ תחום מדעי הנתונים (Data Science and Analytics)

ביקוש במונחי מספר עובדים

מבין כל התחומים שנסקרו, דומה כי תחום מדעי הנתונים ידרוש את מירב כוח האדם בשנים הקרובות.

לפי דו"ח של חברת הייעוץ Burning Glass ו-IBM (Markow, Braganza, Taska, Hughes, & Miller, 2017), מספר המשרות בתחום המידע והאנליטיקה (Data Science and Analytics- DSA) צפוי לגדול בין השנים 2015-2020 ב-364,000 משרות עד ל-2.7 מיליון משרות בארה"ב בשנת 2020⁴⁰. 2% מתוך משרות אלו צפויות להיות משרות של מדעני מידע או עובדים אחרים בתחום האנליטיקה המתקדמת (Data Scientists and Advanced Analytics). טבלה 8 מפרטת מהם המקצועות השונים בתחום ה-Data Science and Analytics:

טבלה 8: תיאור המקצועות השונים בתחום ה-Data Science and Analytics

קטגוריה	תפקיד	דוגמאות למקצועות בקטגוריה זאת
Data Scientists and Advanced Analytics	Create complex analytical models to build new datasets and insights from data	Data Scientist
Data Analysts	Utilize data analytics to solve problems and create functional insights	Data Analysts Business Intelligence Analysts
Data Systems Developers	Design and build the organizational data infrastructure	Systems Analyst Database Administrator
Analytics Managers	Manage analytics operations and transfer insights to high level management	Chief analytics manager
Functional Analysts	Utilize data for specific business decisions	Business Analyst Financial Analyst
Data Driven Decision Makers	Utilize data for strategic and operational decisions	Marketing Manager

מקור: (Markow et al., 2017)

⁴⁰ תחזית זו מתבססת על ניתוח 130 מיליון מודעות דרושים וזיהוי מילות המפתח המתייחסות לעיסוק ב-DSA (Data Science and Analytics). ראו פירוט בהמשך.

טבלה 9 מציגה את ריכוז ממצאי הדו"ח מבחינת גידול צפוי במספר העובדים (בשנת 2015 ותחזית לשנת 2020), הזמן הממוצע לאיוש משרה בכל קטגוריה (נתון המצביע על ביקוש עובדים לעומת היצע) והשכר השנתי הממוצע בארה"ב נכון לשנת 2015:

טבלה 9: נתונים לגבי ביקוש לעובדי Data Science and Analytics (Markow et al., 2017)

קטגוריה	גידול צפוי ב 5 שנים (2015-2020)	זמן ממוצע לאיוש משרה (ימים)	שכר ממוצע שנתי 2015 (\$)
Data Driven Decision Makers	14%	48	91,000
Functional Analyst	17%	40	69,000
Data Systems Developers	15%	50	78,000
Data Analysts	16%	38	70,000
Data Scientists	28%	46	95,000
Analytics Managers	15%	43	106,000

מקור: (Markow et al., 2017)

לפי אותו הדו"ח, עיקר הביקוש לעובדי DSA מגיע מהורטיקלים של שירותים מקצועיים וכספים וביטוח. שני ורטיקלים אלו אחראיים למעל 50% מהביקוש ברוב קטגוריות העובדים:

טבלה 10: שיעור ביקוש עובדי Data Science and Analytics לפי ורטיקלים 2015 (התחומים שבהם הביקוש הצפוי הוא 25% ומעלה מודגשים בצבע)

קטגוריה	שירותים מקצועיים	כספים וביטוח	יצור	תעשיית המידע	תחום הבריאות	קמעונאות
Data driven decision makers	23%	17%	16%	10%	6%	6%
Functional Analysts	23%	34%	9%	5%	8%	4%
Data Systems Developers	41%	14%	14%	10%	5%	3%
Data Analysts	34%	25%	9%	6%	7%	3%
Data Scientists	31%	23%	12%	10%	6%	4%
Analytics Managers	21%	41%	9%	9%	6%	3%

מקור: (Markow et al., 2017)

לפי Nicolaus et al. (2016), מחסור בכ"א מדעי וטכנולוגי הוא המחסום הגדול ביותר המונע מארגונים לממש את מלוא הפוטנציאל הגלום במידע ואנליטיקה. הביקוש העולה למדעני מידע גרם לעלייה של כ-16% בשכרם הממוצע בין השנים 2012-2014 בארה"ב.

התפקידים אותם ממלאים מדעני מידע דורשים יותר ויותר התמחות. מהצד האחד מדעני מידע עוסקים במחקר ובאלגוריתמיקה חדשנית. לפי ההערכה מדובר בקבוצה המונה אלפים בודדים בלבד של אנשים ברחבי העולם המצויים ב"חוד החנית" של פיתוח האלגוריתמיקה המתוחכמת והפרסומים המדעיים החשובים בתחום. בצד השני מדעני מידע עובדים קרוב יותר לשימושים העסקיים ומפתחים תובנות ואפליקציות ספציפיות לחברה. נדירותם של מדעני מידע בקצה העליון של הסקאלה משפיעה על תחום הרכישות. בשנת 2014, למשל, רכשה גוגל את חברת DeepMind על 75 עובדיה תמורת \$500M, כ-\$7M לעובד.

בצד ההיצע ניתן לראות תגובה לביקוש העולה לעובדי מידע ואנליטיקה. מספר בוגרי התארים המדגישים מידע ואנליטיקה בכל הרמות עלה בארה"ב ב-7.5% בין השנים 2010-2015. האוניברסיטאות בארה"ב משיקות תכניות עבור מנתחי מידע, מדעני מידע ואנליסטים עסקיים. בשנת 2015 כבר היו בארה"ב מעל 120 תכניות לתואר שני באנליטיקה או מדעי המידע. בנוסף למסלול ההשכלה הרשמית נפתחו אפשרויות אחרות לרכוש כישרים במדעי המידע כמו boot-camps, קורסים מקוונים (MOOCs), ולימודי תעודה (ראו להלן). עדיין לא ברור האם מעסיקים יעסיקו בוגרי מסלולים אלטרנטיביים אלו בכמויות גדולות, בגלל ההתמחות המשמעותית הנדרשת ממדעני מידע.

הגידול בהיצע לא צפוי בטווח הקצר להדביק את גידול הביקוש, שצפוי לעמוד, לפי חלק מהתחזיות, על כ-12% בשנים הקרובות. במצב כזה עלול המחסור במדעני מידע להגיע בארה"ב בלבד לכ-250,000 עובדים בשנת 2024 (ראו איור 29) תחזיות אחרות, לעומת זאת, חוזות שהרבה מהפעולות שמבצעים מדעני מידע, כמו ניקוי והבניית המידע יהפכו להיות אוטומטיות. לפי תחזיות אלו צפויה האטה בביקוש לקראת סוף העשור הקרוב.

איור 29: ביקוש והיצע צפוי למדעני מידע, 2024



מקור: (Nicolaus et al., 2016)

גם במדינות אחרות קיים צפי לגידול משמעותי בביקוש לעובדים בתחום מדעי הנתונים, ובכלל זאת בקנדה בה צפוי גידול של למעלה מ-30% לכדי כ-43,000 עובדים בשנת 2020 (Bourgi, 2017), וביפן שם צפוי גידול של בערך פי 3 בשלוש שנים, לכדי 50,000 עובדים עד שנת 2020 (Akira H., 2017). בסינגפור חל גידול של למעלה מ-60% בביקוש לעובדים בתחום מדעי המידע (מ-9,300 ל-15,000) בין השנים 2015-2018. במדינות אסיה-פסיפיק אחוז המעסיקים שדיווחו על קושי בגיוס עובדים בתחום זה טיפס מ-28% בשנת 2006 ל-48% בשנת 2015 (Pompa C & Burke T, 2017).

ביקוש במונחי מיומנויות

Markow et al (2017) מיפו את המיומנויות הנדרשות ביותר אצל עובדי DSA לפי מספר משרות בשנת 2015 ולפי קצב הגידול הצפוי:

טבלה 11: מיפוי המיומנויות הנדרשות ביותר אצל עובדי DSA לפי מספר משרות בשנת 2015 ולפי קצב הגידול הצפוי

מיומנויות הצפויות לגדול		מיומנויות הנדרשות ביותר בשנת 2015	
שיעור הגידול הצפוי בשנתיים	מיומנות	מספר מודעות דרושים	מיומנות
93%	Data Science	338,555	SQL ⁴¹
56%	Machine Learning	166,285	Data Analysis
52%	Tableau ⁴²	155,331	Financial analysis
50%	Big Data	113,807	Data Management
44%	Data visualization	107,297	Mathematics
41%	R ⁴³	97,797	Data Warehousing
41%	Apache hive ⁴⁴	93,630	SQL Server
39%	Predictive analytics	92,256	Database Administration
35%	Apache hadoop ⁴⁵	88,603	Business Intelligence
34%	Pivot tables	82,920	Extraction, Transformation and Loading (ETL)

קיימות מספר סיבות למחסור ההולך וגובר בכוח אדם מוכשר בתחום בעולם, ובהן הזמינות ההולכת וגוברת של המידע הנאסף ממקורות שונים ובכלל זאת טכנולוגיות ה-IOT, הצורך בארגון מידע רב בחברות כמו גם ההבנה הגוברת בדבר היתרונות והשימושים האפשריים במידע ליצירת יתרונות עסקיים (Van der Meulen, 2017; "Why Data Science Is Such A Hot Career Right Now," 2017, "Why data science jobs are in high demand? | The CutShort Blog," 2018).

בישראל, חלו בשנה האחרונה (2017) עליות של עשרות אחוזים בביקוש למהנדסים בתחומים אלו. כך לדוגמא, בתחום ה Big Data נרשמה עליה של 70% וב-Digital Health 23%. גם בשנת 2018 קיים צפי לעליה משמעותית בביקוש ובשכר של מהנדסים בתחומים אלו (סיכום 2017 ותחזיות ל 2018 בתעשיות ההייטק והביוטק | סקרי שכר וניתוח מגמות בהייטק וביוטק | אתוסיה, 2017). כך, לדוגמא, שכר הממוצע של מדעני נתונים מתחילים (עד 3 שנות ניסיון) עמד בשנת 2017 על למעלה מ-24 אלף ש"ח בחודש ואילו מדעני נתונים מנוסים השתכרו מעל 29 אלף ש"ח עם גידול ממוצע של 4.5% בשכר בין השנים 2011-2017 (Levy, 2018).

על פי מחקר שביצעה חברת LinkedIn בשנת 2017, נצפתה עליה של למעלה מפי 6 בביקוש למהנדסי נתונים. על פי אותו מחקר, מסלול הקריירה של אנשים שהם בעלי כישורים בתחום זה כלל את תחומי האנליזה העסקית, הנדסת תוכנה ועוזרי מחקר והוראה. המיומנויות של העובדים בתחום זה כללו, בין היתר, ידע בלמידת מכונה, שפת Python, כריית מידע ואנליזה (Economic Graph Team, 2017).

⁴¹ שפת מחשב לטיפול ועיבוד מידע בבסיסי נתונים יחסיים

⁴² כלי לניתוח ותצוגת נתונים בתצורה גרפית מתקדמת.

⁴³ שפת תכנות וסביבת עבודה (בקוד פתוח) למחשוב ולגרפיקה סטטיסטיות.

⁴⁴ פרויקט תוכנה של מחסן נתונים שנבנה על גבי hadoop ומאפשר שירותי סיכום נתונים, שאילתות, וניתוחים.

⁴⁵ פרויקט קוד פתוח המגדיר מסגרת תוכנה ליישום מבזר המעבד כמויות גדולות של נתונים.

מיפיו נוסף של מיומנויות שונות הנדרשות לתחום מדעי הנתונים מצביע על מספר תובנות משמעותיות (Markow, W., Braganza, S., Taska, B., Hughes, D., & Miller, 2017). צפוי, כי כשליש מהמשרות הנחוצות בשוק העבודה יתמקדו בעובדים שתפקידם לקבל החלטות עסקיות על בסיס מידע רב ובמינוף מידע זה לתועלת הארגון. במקצועות מסוג זה, לדוגמה, יכולים לשמש מנהלי פרויקטים בתחום ה-IT ומנהלי שיווק. עוד כשליש מהדרישה בשוק צפויה להיות לאנליסטים, כגון אנליסטים עסקיים ופיננסים שיספקו את המידע הדרוש לארגון. תחום עיסוק מרכזי נוסף שצפוי לתפוס כרבע מדרישות השוק הינו מפתחי מערכות מידע ומהנדסי המידע שתפקידם לתכנן, לבנות ולתחזק את תשתיות המידע של הארגון. דוגמא לתפקידים אלו הם Database Administrators או Systems Analysts. כמו כן, צפוי ביקוש למדעני נתונים בעלי רמה אנליטית גבוהה המסוגלים לבנות מודלים מתוחכמים לשימוש במידע (Data Scientists) אך ביקוש זה צפוי להיות נמוך משמעותית מזה של התפקידים שתוארו לעיל (ראו טבלה 12 להלן).

לעיתים תידרשנה מיומנויות דומות עבור אלו המשתמשים בתוכנות קיימות ועבור אלו המפתחים אותן, אך עם זאת האופן שבו הם משתמשים במיומנויות אלו יהיה שונה. כך לדוגמה במיומנויות הקשורות לאנליזה של מידע, המפתח יצור מתודולוגיות חדשות לטיפול במידע, סידור ו'ניקוי' המידע בעוד המשתמש יבצע אנליזות שונות על מידע זה לתועלת הארגון. בעת השימוש במידע לטובת קבלת החלטות, המשתמש יאסוף אינפורמציה, יעבד את המידע, יציג אותו ויעביר את המסקנות לגורמים הרלוונטיים, בעוד המפתח יצור מודלים שיוכלו לחזות באופן מתוחכם, את הצפוי על בסיס המידע וימליצו בהתאם. ככלל ניתן לציין שמדעני המידע מוודאים שהמידע קיים וכי הוא מדויק, בונים מודלים לחיזוי (Predictive) ומודלים להמלצות אוטומטיות על דרכי פעולה בהתחשב במכלול נתונים שונים (Prescriptive). אנליסטים של מידע עובדים באופן עצמאי ומול המנהלים השונים על מנת להבין מה קרה ואילו תובנות ניתן להפיק מכך ("Investing in America's data science and analytics talent," 2017).

המועסקים בתחום יידרשו לשלוט במיומנויות מחשוב ותכנות שונות כגון SAS, LINUX ו-SQL כמו גם להפגין, בתפקידים מסוימים, יכולות אנליטיות הקשורות לבינה עסקית (Business Intelligence), ויכולת ביצוע אנליזות פיננסיות. מיומנויות ניתוח וניהול מידע צפויות להיות חלק אינטגרלי מתפקידים רבים בתחום. בתפקידים היותר מתקדמים, כגון Data Scientist תידרשנה מיומנויות מתקדמות יותר כגון ידע בשפות תכנות C++ ו-Python כמו גם שימוש בכלי פיתוח כגון Apache Hadoop, אחסון נתונים (Data Warehouse) וידע ב-Machine Learning (Markow, W., Braganza, S., Taska, B., Hughes, D., & Miller, 2017).

תכניות הלימודים השונות באוניברסיטאות בארה"ב המעניקות תארים ותעודות בתחום ה Data Science מתמקדות בהקניית ידע ומיומנויות בתחומים העיקריים הבאים: אנליזה סטטיסטית ומתמטית, תכנות, כריית מידע, למידת מכונה, אלגוריתמיקה, ביג דאטה, ניהול בסיסי נתונים ואחסון מידע וכן סוגיות באתיקה ושמירה על פרטיות המידע. לצד זאת, הסטודנטים רוכשים מיומנות גם במתודות להצגת שאלות רלוונטיות, הסקת מסקנות משימוש במידע והצגת מסקנות אלו (Costa & Santos, 2017). בין השנים 2010-2016 חל בארה"ב גידול משמעותי (מעל 50%) במספר תכניות הלימודים בתחום אנליזה של נתונים, כאשר עיקר המיקוד הינו באנליזה של נתונים עסקיים (Business Analytics). כיום, פועלות מעל 300 תכניות בתחום ה Data Science and Analytics באוניברסיטאות שונות בארה"ב (Tableau, 2016). במקרים נוספים, חברות שזיהו את הצורך בהקניית ידע רלוונטי לעובדים, קיימו תכניות לימודים למאות עובדים בשיתוף עם האוניברסיטאות על מנת ליצור את בסיס הידע הנדרש ("Preparing for the Data Science-Driven Era Cisco IT Insights," 2015). מסגרת הלימודים בתוכניות אלו כללה רמה בסיסית, בה נלמדו באופן ראשוני שפות תכנות כגון C++ ו-Python כמו גם סטטיסטיקה ועקרונות התחלתיים של Machine Learning. לעובדים שבחרו להתקדם בתוכנית, הוצעו קורסים מתקדמים ב Data Mining, Big Data Platforms וכלים לביצוע Visualization. בשלבים הבאים יושמה הלמידה לפתרון בעיות רלוונטיות (Risda, 2017).

אפשרויות נוספות ללימוד של התחום כוללות עריכת Bootcamps ו Massive Open Online Courses (MOOC) במספר רמות לימוד. להקניית ידע בסיסי ניתן לקיים סדרת קורסים כלליים בתחומי אנליזה המידע ואילו להקניית ידע פרקטי ניתן לשלב בתוכנית הלימודים תת התמחות ספציפית בתוכנות או בפלטפורמות מסוימות. כמו כן ניתן לקיים Bootcamps ו MOOC לבעלי רקע מתקדם בתחומי המתמטיקה וההנדסה על מנת להעשיר ולקדם את היכולות בתחום ("Investing in America's data science and analytics talent," 2017).

להלן מוצגת דוגמא להצעה לתוספת קורסים במדעי הנתונים לתכנית הלימודים האוניברסיטאית בחשבונאות. דוגמא זאת עשויה להיות רלוונטית להקניית הידע הנחוץ לתחומי לימוד שאינם מעניקים תואר במדעי הנתונים, אך נותנים לבוגריהם את האפשרות לעשות שימוש בכלים אלו לתועלת הארגון בו הם עובדים, כדוגמת Data Driven Decision Makers and Translators.

לימודי הסמכה

» תכנות

- קורס בסיסי בתכנות להקניית המיומנויות הבאות:
- ידע בסיסי בשפות התכנות PYTHON, JAVA
- הקניית ידע באקסל (בדגש על שימושים מתקדמים בגיליונות העבודה) וב – Microsoft Access
- ידע בשימושים העיקריים בבסיסי נתונים באמצעות תוכנות כגון SQL, MongoDB, Hadoop.

» סטטיסטיקה

- קורס סטטיסטיקה ראשוני:
- מבוא לתכנות בשפת R
- מיומנויות בסיסיות באיסוף נתונים וניקוי Data גולמי באמצעות שפת R ותוכנות נוספות.
- מבוא להצגת מידע (Visualization) באמצעות תוכנות כגון Tableau, Spotfire, Qlikview.
- מושגים בסיסיים בחקר נתונים וסטטיסטיקה - סטטיסטיקה תיאורית, סטטיסטיקה רב-משתנית.
- קורס סטטיסטיקה מתקדם:
- אנליזות בשפת R
- לימוד תוכנות לסביבת עבודה משותפת אונליין (GitHub)
- נושאים מתקדמים יותר בסטטיסטיקה כגון התמודדות עם חוסר במידע, גרסיות ומודלים ליניאריים
- למידת מכונה כלים לבניית תחזיות – Predictions

» לימודי מוסמכים

- קורס באנליזה סטטיסטית.
- קורס במחשוב: Python, Java וכריית מידע מתוך טקסט.
- נושאים מתקדמים בחיזוי (Prediction) ובלמידת מכונה.
- נושאים מתקדמים בשימושים במסדי נתונים.

מיומנות נוספת הנלווית לאלו שתוארו לעיל וצפויה גם כן להיות בעלת חשיבות רבה היא היכולת להציג את המידע באופן חזותי (Visualization) וליצור תצוגות נוחות למשתמש על מנת לסייע בקבלת החלטות על בסיס המידע המוצג. דווח, כי בין השנים 2010-2015 גדל בארה"ב הביקוש לעובדים בעלי מיומנויות מסוג זה בכ-50% לשנה (Nicolaus et al., 2016).

מחקרים שונים צופים כי עיקר הביקוש לעובדים בתחום (כ-60%) צפוי להיות במספר תחומי עיסוק מצומצם יחסית ובהם תחום השירותים העסקיים, מערכות המידע (IT), הפיננסים והביטוח. (Markow, W., Braganza, S., Taska, B., Hughes, D., & Miller, 2017). עם זאת, צפוי כי תחומים נוספים כגון תחום הבריאות על מיומנות האפשרויות הדיגיטליות הטמונות בחובו, יושפע גם כן (Bughin et al., 2016).

טבלה 12: צפי לדרישות כוח אדם בתחום מדעי הנתונים⁴⁶

החלק הצפוי מדרישות העבודה בתחום מדעי הנתונים (ארה"ב שנת 2020)	דוגמאות לתפקידים השונים בתחום מדעי הנתונים
~34%	מנהלי פרויקטים (כולל IT) ומנהלי שיווק הנדרשים לקבל החלטות על בסיס נתונים
~33%	אנליסטים פונקציונליים (Functional Analyst) כדוגמת אנליסטים פיננסיים ועסקיים
~23.5%	מפתחי מערכות מידע
~5.5%	אנליסטים של מידע ואנליסטים בתחום הבינה העסקית (יידרשו לעבודה יותר מתקדמת ויצירתית, במינוף השימוש במידע ובפתרון בעיות, מזו של האנליסטים הפיננסיים והעסקיים)
~2.5%	מדעני מידע (ביצוע אנליזה מתקדמת, אלגוריתמיקה ומודלים מתוחכמים)
~1.5%	מנהלי אנליזות נתונים, ניהול כל פעילות האנליזה בחברה

ביקושים בישראל במסגרת תכנית בריאות דיגיטלית

במסגרת התכנית הלאומית עליה הכריזה ממשלת ישראל לקידום תחום הבריאות הדיגיטלית כאמצעי לשיפור הבריאות וכמנוע צמיחה, נבחנו היבטי כח האדם הנדרשים בתחום. לפי הערכות אלו, ידרשו כ- 3000 מדעני נתונים בתחום הבריאות הדיגיטלית עד שנת 2027, תוך גידול של מעל 10% בכל שנה בשנים הקרובות. כמו כן, יידרשו בעלי מקצועות נוספים עם מומחיות בתחום נתוני הבריאות, כגון מומחי תוכן, אנליסטים ומפתחי תוכנה (התכנית הלאומית לבריאות דיגיטלית כמנוע צמיחה, 2018). בנוסף, פורטו הכישורים העיקריים הנדרשים עבור כל אחד מבעלי הפרופילים המקצועיים השונים. במסגרת זאת, למדעני הנתונים יידרשו כישורים הנוגעים ליכולות וחשיבה מחקרית – חישובית וניסיון עם Big Data. לרוב, יהיה מדובר בבעלי רקע של תואר אקדמי שני לפחות. לאנליסטים (Data Analysts) יהיה צורך ביכולות ניתוח מידע בעולמות התוכן הבריאותיים תוך שימוש בכלים של Big Data ו AI ורקע אקדמי מועדף בתחום הפרא-רפואי. כמו כן יידרשו מומחים קליניים בעלי הבנה והשכלה רפואית וידע בעולמות מדעי הנתונים. מומחי מוצר ופיתוח עסקי עם הבנה בעולמות הבריאות הדיגיטלית ומנהלי עסקים יידרשו אף הם. מפתחי תוכנה בעלי תואר ראשון במחשבים ובמיוחד ב-Big Data ידרשו לתחום מתפתח זה (התכנית הלאומית לבריאות דיגיטלית כמנוע צמיחה, 2018).

תכנית ה-NIH בארה"ב לשילוב ידע במדעי הנתונים בתחום הביו-רפואי

המחקר בתחום הביו-רפואי מסתמך כיום יותר ויותר על נתונים ומצריך, בשל כך, בניית יכולות בתחום מדעי הנתונים לעוסקים בתחום (Dunn & Bourne, 2017). במסגרת זאת, ה National Institute of Health בארה"ב יזם בשנת 2012 תכנית בשם Big Data to Knowledge (BD2K) לצמצום הפער בין הצורך לבין הידע המצוי בידי העוסקים בתחום ("About BD2K | Data Science at NIH," 2017). מטרת המיזם הוגדרו, בין היתר, כיצירת אפשרויות לפיתוח מסלולי קריירה, חשיפת המדענים למקצוע מדעי הנתונים על ידי מתן הדרכה והקניית ידע במסגרת תכניות הלימודים וקורסים ייעודיים, ועידוד שיתוף הפעולה בין מדעני נתונים ומדענים ביו-רפואיים. ה-NIH תקצב מלגות ומענקים שונים בתחומים שהוזכרו לעיל, בכ-15 מיליון דולר בשנת 2017 תכנית ההכשרה של ה-NIH מעודדת מעבר בין דיסציפלינות שונות כגון תעשייה, אקדמיה וממשל, מתוך הבנה שידע וניסיון בין תחומי הינו גורם מפרה בעבודת החוקר (Dunn & Bourne, 2017). מלבד יצירת תכניות לימוד מעמיקות ומסלולי פיתוח קריירה, התגבשה ההבנה כי קיים צורך בהענקת ידע כללי ופחות מעמיק לחוקרים נוספים על מנת ליצור אפשרות לקיים שיח והבנה בסיסית עם המומחים בתחום מדעי הנתונים. לצורך כך, הוכנו תכניות לימודים הכוללות קורסים וחומרי לימוד מקוונים, כמו גם אינדקס מסודר של קורסים אינטרנטיים בהם ניתן להיעזר באופן

⁴⁶ מעובד על פי Markow, W., Braganza, S., Taska, B., Hughes, D., & Miller, 2017

פשוט יחסית. בנוסף, במסגרת התוכנית הופעלו "מעבדות חדשנות" בהם פעלו בצוותא מדעני נתונים ומדענים מהתחום הביו-רפואי בהנחיית חוקרים מנוסים, בחשיבה חדשנית על תחומים כגון רפואה מותאמת אישית ושרותי רפואה הנעזרים בטלפונים סלולאריים (Mobile Health). לאחרונה, פרסם ה-NIH תכנית אסטרטגית בנושא מדעי הנתונים ובכלל זאת ציין כי בכוונתו לשתף פעולה עם ה-National Science Foundation (NSF) בהקניית הידע במדעי הנתונים לעוסקים בתחום וכן לסייע בפיתוח כלים מגוונים לאנליזת מידע בתחום הביו-רפואי ("NIH releases strategic plan for data science | National Institutes of Health (NIH)", 2018). מבין התכנים שצינו כחשובים להכשרות בתחום זה: תכנות (ובכלל זאת אלגוריתמיקה, אופטימיזציה, High Performance Computing ו-Data Management), קורס בלמידת מכונה ובסטיסטיקה (כולל הסקה, רגרסיה ושיטות מידול מתקדמות) (Dunn & Bourne, 2017). ככלל, תכנית ה-NIH לשילוב מדעי הנתונים במחקר הביו-רפואי פועלת באופן מתואם ב-27 המרכזים השייכים ל-NIH (2018, "Data Science at NIH").

תחום הבינה המלאכותית (Artificial Intelligence)

» ביקוש במונחי מספר עובדים

חשוב לציין כי תחום הבינה המלאכותית, על פי רוב, אינו נפרד מתחום מדעי המידע אלא נכלל בו ומשלים אותו באמצעות הקניית ושימוש בכלים מתקדמים לעיבוד וניתוח של מידע כמו גם ליצירת תחזיות (Predictions). בתחומי הבינה המלאכותית קיימים כיום ואף צפויים בעתיד חוסרים משמעותיים בהיבטי כוח האדם. חוסרים אלו מובילים לכך שהביקוש עולה בצורה משמעותית על ההיצע וכתוצאה מכך המשכורות המשולמות לעובדים הינן גבוהות מאד. כך, לדוגמא, בישראל עשוי להגיע שכרו הממוצע של מתכנת AI לכדי 33 אלף ש"ח בחודש (Gan-El Oshrit, 2018) ואילו בארה"ב שכר זה יכול לנוע בין 300-500 אלף דולר בשנה (כ-25-40 אלף דולר בחודש) עקב התחרות העזה בין ענקיות הטכנולוגיה השונות (Kahn Jeremy, 2018).

משנת 2000 חלה בארה"ב עלייה של פי 14 במספר החברות המפתחות מערכות AI ועלייה של פי שש בהשקעות קרנות ההון סיכון בתחום, כאשר עיקר הגידול בשני המקרים היה בין השנים 2010-2015. הביקוש לעובדים בארה"ב גדל פי 4.5 משנת 2013, ואילו בקנדה חלה עליה של יותר מפי 10. בבריטניה חלה עליה של יותר מפי 5 בביקוש בשנים אלו (Perrault, Brynjolfsson, Openai, Manager, & Legassick, 2017) כאשר כ-2.3 משרות בממוצע פתוחות עבור כל עובד בעל יכולת בתחום (Flinders, 2017).

על פי מחקר שביצע LinkedIn בשנת 2017, נצפתה עליה של פי 10 לערך בביקוש למהנדסים עם ידע בלמידת מכונה (Machine Learning) וכ-1600 משרות היו פתוחות בתחום. על פי אותו מחקר, מסלול הקריירה של אנשים שהם בעלי כישורים בתחום למידת המכונה כלל את תחום הנדסת התוכנה, עבודה כעוזרי מחקר או הוראה, ומהנדסי נתונים ומערכות. המיומנויות של העובדים בתחום למידת המכונה מופו כידע בלמידת מכונה, מחקר, אלגוריתמיקה, תוכנה ולמידה עמוקה (Economic Graph Team, 2017).

על פי ההערכות של חברת ההשמה אתוסיה, חסרים היום לפחות 400 מהנדסים למשרות הליבה בתחום הבינה המלאכותית (מומחים לראייה ממוחשבת, דיפ לרנינג ועיבוד תמונה). זמן האיוש הממוצע למשרה הוא כ-9-10 שבועות בהשוואה לתפקידי פיתוח תוכנה שלוקחים כ-3-4 שבועות בממוצע (Gan-El Oshrit, 2018).

על פי ההערכות, ישנם כ-5000 איש ברחבי העולם המובילים את התחום, משתתפים בכנסים מדעיים ומפרסמים מאמרים הנוגעים ל-AI. כמו כן, בעולם כולו קיימים עשרות אלפים בודדים אחרים שהם בעלי ידע בתחום (Kahn Jeremy, 2018; Metz Cade, 2017). כתוצאה מהבנת הפוטנציאל הטמון בטכנולוגיה ממשלות מתחרות ביניהן על גיוס עובדים מוכשרים והקמת מרכזי פיתוח בתחום, ומשקיעות סכומי עתק של מיליארדי דולרים לצורך כך (Gan-El Oshrit, 2018).

באוניברסיטאות מובילות בארה"ב כגון סטנפורד וברקלי חל גידול משמעותי במספר הסטודנטים הלומדים קורסים בסיסיים בתחומי הבינה המלאכותית. כך, באוניברסיטת ברקלי לדוגמא, גדל מספר הסטודנטים מכ-500 בשנת 2010 לכ-1000 בשנת 2015. בסטנפורד היה גידול של פי 11 במספר הסטודנטים הלומדים קורסים בתחומי הבינה המלאכותית, מאז שנת 1996, כאשר עיקר העלייה במספר זה חלה משנת 2010 ואילך (Perrault et al., 2017). חשוב לציין, כי מספר הפרסומים המדעיים בעולם בתחומי הבינה המלאכותית עלה בערך פי 9 משנת 1996 (Perrault et al., 2017).

הסיבות למחסור בכוח האדם הינן מגוונות אך ניתן למנות ביניהן את העובדה שתחום זה דורש התמחות ספציפית המשלבת בתוכה מספר דיסציפלינות שכבר כיום מסתמן בהן מחסור בכוח אדם, כגון מדעני נתונים, מהנדסי תוכנה ומחשבים ומומחים בתחום המתמטיקה והסטטיסטיקה (Hall & Pesenti, 2017). גורמים נוספים למחסור זה נעוצים בעובדה שהצעות שכר גבוהות גורמות לעובדים מוכשרים בתחום במדינות מסוימות לנדוד אל מדינות אחרות (למשל כמו עובדים בבריטניה לאחר הברקזיט) (Flinders, 2017).

» ביקוש במונחי מיומנויות

טבלה 13: תתי התחומים בבינה המלאכותית, המבוקשים ביותר בשוק בארה"ב כיום מוצגים בסדר יורד (Perrault et al., 2017)

דירוג	המיומנות הנדרשת
1	למידת מכונה (Machine Learning)
2	למידה עמוקה (Deep Learning)
3	עיבוד שפה טבעית (Natural Language Programming)
4	ראייה ממוחשבת (Computer Vision)

המיומנויות שתידרשנה בתחום ה-AI הינן מגוונות. אלו המתקדמות נוגעות ליכולות חישוביות ותכנותיות, ובעיקר למידת מכונה. מיומנויות נוספות נוגעות ליכולות טיפול במידע כגון הכנת מידע לצורך עיבודו. המיומנויות הבסיסיות ביותר קשורות לפיתוח ההבנה המתמטית כתשתית עתידית לפיתוח יכולות בינה מלאכותית עתידיות (Hall & Pesenti, 2017).

» תכניות לימודים ותארים אקדמיים בבינה מלאכותית ולמידת מכונה

הידע והמיומנויות הנדרשים לצורך השגת התמקצעות בתחום הבינה המלאכותית הם מגוונים. אלו כוללים, בין היתר, הבנה בנושאים מתמטיים, סטטיסטיים והסתברותיים כגון Classification, Regression, Optimization⁴⁷ מיומנויות אנליטיות ויכולות לפתרון בעיות וידע בשפות תכנות כגון Python, C++, ו-JAVA R- (Strife, 2015).

חברות גדולות כגון גוגל ומיקרוסופט מספקות פלטפורמות למידה למעוניינים לרכוש ידע מעשי בתחום ה-AI. כלים אלו כוללים קורסים מקוונים במחירים מופחתים כמו גם גישה לספרות מקצועית וכלי תכנות העוסקים בתחום ה-AI ובמיוחד בנושא למידת המכונה "Online Artificial Intelligence Courses", "Education – Google AI", "Microsoft Professional Program", (2018).

כמו כן, אוניברסיטאות מובילות בארה"ב מציעות תכניות לימודים במסגרות של הסמכה לתואר או כלימודי חוץ בתחומים של למידת מכונה ובינה מלאכותית. ב-MIT לדוגמא, מוצעת תכנית למנהלים בדרג הביניים ומעלה להקניית כלים בתחומים של למידת מכונה ובינה מלאכותית והאפשרויות לשלב אותם בניהול העסקים שלהם ("Professional Certificate Program in Machine Learning and Artificial Intelligence | MIT Professional Education", 2018).

⁴⁷ בכלל זאת נושאים כגון Naive Bayes, Gaussian Mixture Models, and Hidden Markov Models confusion matrices, receiver-operator curves, p-values

» מסלולי בוגר בהנדסת מחשבים עם התמחות בבינה מלאכותית

באוניברסיטת סטנפורד מוצע מסלול בוגר במדעי המחשב עם התמחות בבינה מלאכותית (CS Artificial Intelligence Track Program Sheet,⁴⁸ המסלול כולל לימודים בתחומים שונים כגון לוגיקה, רובוטיקה, למידת מכונה, מודלים הסתברותיים, עיבוד שפה טבעית, ראיית מכונה וביולוגיה חישובית (Stanford University Undergraduate Major in Computer Science, תוך הקניית יסודות מתמטיים וחישוביים. במוסדות אקדמיים נוספים בארה"ב המעניקים תארי B.Sc. עם התמחות ב-AI קיימות תכניות דומות באופיין ובתכני הלימוד לאלו של אוניברסיטת סטנפורד, הכוללות גם תוספות שונות כגון Caltech Computing Neural Networks + Mathematical Sciences | Undergraduate Major in Computer Science, 2018) Neural Networks and Computation (BS CSE Specialization Options, 2018) ושימושי AI בכריית מידע ובמנועי חיפוש (Vectors | Department of Computer Science, 2018). תכניות אחרות משלבות בין תחומי הבינה המלאכותית, הרובוטיקה והסייבר וכוללות קורסים בסטטיסטיקה והסתברות ויישומיהן למערכות אלקטרוניות, קורסי מבוא בתחומי הבינה המלאכותית כדוגמת פתרון בעיות שונות, עיבוד שפה טבעית ועיבוד טקסט, שיטות שונות בלמידת מכונה (Supervised and Unsupervised Machine Learning) ומעבדת מחשבים הנלווית לקורסים בה מתרגלים בפועל יישומים שונים של החומר הנלמד (ECE 448 - Introduction to Artificial Intelligence, 2018).

» מסלולי מוסמך ודוקטורט בהנדסת מחשבים עם התמחות בבינה מלאכותית

בהמשך למסלולי הבוגר מוצעות באוניברסיטאות בארה"ב גם תכניות ללימודי מסטר הממוקדים בלמידת מכונה. באוניברסיטת Carnegie Mellon - Machine Learning Department (MS in Machine Learning - Machine Learning Department - Carnegie Mellon University, 2018) School of Computer Science - Carnegie Mellon University, שהיא מהמובילות בארה"ב בלימודי הסמכה בתחומי הבינה המלאכותית (Nickelsburg, 2018), תכנית זאת מורכבת מלימודי מבואות בלמידת מכונה, סטטיסטיקה ללמידת מכונה ונושאים שונים בהסתברות. כמו כן נלמדים נושאים כגון Deep Reinforcement Learning, מודלים גרפיים, אלגוריתמיקה מתקדמת, למידת מכונה בהקשרי Big Data כולל טיפול בנתונים חלקיים וחסרים, אנליזת רגרסיות (Regression Analysis), כריית מידע ומולטימדיה. כמו כן ניתנים קורסים ב Data Science הכוללים דוגמאות פרקטיות של שימוש במידע לפתרון בעיות יומיומיות. קורסי בחירה ניתנים במגוון יישומים של הבינה המלאכותית ובכלל זאת, לדוגמא, גנומיקה, מנועי חיפוש, עיבוד שפה וזיהוי קול, יישומי ענן, מדעי המוח וראיית מכונה (MS Electives - Machine Learning Department - Carnegie Mellon University, 2018) School of Computer Science - Carnegie Mellon University. המוסדות המובילים בארה"ב מאפשרים גם להמשיך ללימודי דוקטורט בתחומי הבינה המלאכותית. אלו, לדוגמא, קיימים באוניברסיטאות סטנפורד, ברקלי, MIT, Carnegie Mellon ואוניברסיטת וושינגטון (Nickelsburg, 2018).

בשנים האחרונות בוצעו עבודות דוקטורט בתחומים מגוונים אשר עושים שימוש בטכנולוגיות בינה מלאכותית ובהם אווירונאוטיקה (Adegbindin, 2017), רפואה (Gurney, 2017), הנדסה אזרחית (Abbas, 2015), ביטחון (Gloria, 2016) כמו גם בתחום השפה והפסיכולוגיה (Shahsavaran, 2018).

סקר שנערך בקרב כ-6000 מתכנתים ברחבי העולם העלה כי רבים מהם (74%) אינם עושים כיום שימוש בטכנולוגיות של בינה מלאכותית ולמידת מכונה בתהליך העבודה השוטף, אך רובם המוחלט (81%) מעוניין ללמוד זאת ולנסות לשלב כלי תכנות אלו בעבודתם. כמו כן העלה הסקר שהמתכנתים התעניינו בעיקר ב Automated Machine Learning, Natural Language Programming ומודלים של Deep Learning (A quarterly report on developer trends in the cloud).

לבד מיכולות התכנות והמחשוב, סביר כי בעתיד יהיה צורך באנשי שירות שידעו להסביר ולהדריך על הטכנולוגיות התלויות בבינה מלאכותית לציבור המשתמשים, כמו גם צורך בעובדים מיומנים אשר יהיו מסוגלים לתפעל טכנולוגיות אלו בהצלחה. אלו, לדוגמא, יכולים להיות טכנאים (כולל בתחומי הרפואה), מהנדסי מכונות בתפקידים הקשורים לייצור ועובדים בתחום השירותים כגון בביטוח, פרסום ופיננסים (Hall & Pesenti, 2017).

⁴⁸ פרוט מלא של הקורסים השונים במסלול מצויים ב:

https://cs.stanford.edu/degrees/undergrad/ProgramSheets/CS_AI_1718PS.pdf

מבין המגזרים התעסוקתיים שעשויים להיות מבין המושפעים ביותר מכניסת טכנולוגיה הבינה המלאכותית ניתן לציין את תחום הבריאות ובמסגרתו תמיכה באבחון רפואי ומעקב אחר שינויים במדדים פיזיולוגיים, זיהוי מוקדם וחיזוי של התפתחות מגפות על מנת למנוע את התפשטותן, והסתייעות בבינה מלאכותית בתחומי ההדמיה הרפואית. תחום הרכב עשוי להיות מושפע בעיקר בהיבטי הבינה המלאכותית הנדרשים עבור מערכות רכב אוטונומיות ובכלל זה תקשורת בין רכבים, סיוע לנהג ונהיגה אוטומטית, וכמו כן ביצוע מעקב ויצירת תחזיות הנוגעים לאחזקת המערכות. בתחום השירותים הפיננסיים צפויה הבינה המלאכותית להשתלב בסיוע לתכנון פיננסי מותאם אישית, זיהוי פעולות לא חוקיות כגון הונאה והלבנת כספים ואוטומציה של תהליכים בתחום שירות הלקוחות וה-Back Office (Rao & Verweij, 2017).

תחום הרובוטיקה והמערכות האוטונומיות

» ביקוש במונחי מספרי עובדים

עובדים רבים כיום נדרשים לשלב בעבודתם מיומנויות הקשורות לשימוש בטכנולוגיה מתקדמת ובכלל זה ברובוטיקה, בשל כניסת מערכות רובוטיות לתחומים רבים בתעשייה. תפקידים אלו כוללים, בין היתר, מתכנתים, מפעילים ואנשי אחזקה של רובוטים ("Work in the Automation Age: Sustainable Careers Today and into the Future," 2017). ככל שכניסת הרובוטים לתחומים תעשייתיים ועסקיים תואץ, צפוי שידרשו יותר ויותר עובדים בעלי מיומנויות בתחום זה (Wollenhaupt Gary, 2014). מחקר שנערך בשנים האחרונות בבריטניה מצא כי קיים קושי באיוש כ-50% מהמשרות שדרשו ידע כמהנדסי רובוטיקה (Owen-Hill, 2016). בשנת 2016, היו בארה"ב כ-130 אלף מהנדסי רובוטיקה ומספר זה צפוי לגדול ב-5-9% בעשר השנים הקרובות ("O*NET OnLine - Robotics Engineers").

תחום הרכב האוטונומי הינו תחום מתפתח מאד בשנים האחרונות ונחשב כאחד המובילים והדומיננטיים בתחום המערכות האוטונומיות והרובוטיקה החכמה. חשוב להדגיש כי בשל העובדה שתעשייה זאת נמצאת בשלביה הראשונים יחסית, מרבית המקצועות הנדרשים בה כיום קשורים לתחום המחקר והפיתוח. בשל המחסור במהנדסי רכב אוטונומי, מוצע שכר גבוה לעובדים מוכשרים בתחום, היכול להגיע עד לכדי 295 אלף דולר בשנה בממוצע (Ohnsman, 2017). חברות כגון גוגל, מציעות כ-280 אלף דולר לצד כ-30 אלף דולר מענק חתימה למהנדסים בעלי יכולות בתחום, ואילו Uber מציעה משכורות של יותר מ-340 אלף דולר לשנה (Ohnsman, 2017). על אף שינויים בביקוש חלה עליה בשנים האחרונות בעובדים בתחום הרכב האוטונומי, ונכון לשנים 2015-2016 למעלה מ-10,000 מודעות דרושים פורסמו בתחום בארה"ב ("Connected and Automated Vehicles Skills Gap Analysis," 2017).

» ביקוש במונחי מיומנויות

המיומנויות העיקריות הנדרשות כיום ממהנדסי הרובוטיקה על פי ה-US Occupational Information Network (OIN) קשורות לתחום התכנות, הנדסה ותכן של מערכות רובוטיות אוטומטיות, עיבוד אותות, תמיכה, התקנה וכיוצא בזה. תחומי הידע הנדרשים למקצוע זה הם הנדסת מכונות, הנדסת מחשבים ואלקטרוניקה ומתמטיקה ("O*NET OnLine - Robotics Engineers").

לצד תחומי הרובוטיקה ה"קלאסית" תחום "הרובוטיקה החכמה" והמערכות האוטונומיות (כגון רכב אוטונומי) מתקדם אף הוא באופן מואץ. חשוב לציין כי כוח אדם מיומן בתחום של פיתוח מערכות אלו הינו מולטי-דיסציפלינארי וסביר שיכלול תחומים נוספים מלבד מהנדסים וטכנאים, במיוחד כאשר מדובר בפיתוחים של רובוטים המיועדים לסייע לבני אדם (כגון פרויקט רובוטיקה המסייע לאזרחים) (Dario et al., 2011). כך, לדוגמא, לפיתוח רובוטים המיועדים לסייע לבני אדם בתחומי הבריאות והסיעוד כפי שצוין לעיל, סביר להניח כי ידרשו גם בעלי מקצוע אחרים כגון פסיכולוגים, רופאים מומחים, אנשי משפט, אתיקה וסוציולוגיה.

להלן יוצגו הנתונים הקשורים לכוח האדם הנדרש בתעשיית הרכב האוטונומי, וזאת כדוגמא לצרכי האיוש בתחום המערכות האוטונומיות והרובוטיקה החכמה.

על פי מחקר שבוצע באמצעות ניתוח מודעות דרושים מהשנים האחרונות ("Connected and Automated Vehicles Skills Gap Analysis," 2017), מופו התחומים המקצועיים הבאים ככאלו החשובים ביותר בשנים האחרונות לתעשיית הרכבים האוטונומיים בארה"ב (מוצגים 3 העיקריים).

טבלה 14: תחומים מקצועיים מובילים בביקוש לתעשיית הרכב האוטונומי בארה"ב ("Connected and automated vehicles skills gap analysis," 2017)

תחום העניין	אחוז ממודעות הדרושים
ניהול מידע ואבטחת סייבר (Data Management and Cyber Security)	52.2%
הנדסת טכנולוגיות מידע לרכב (Vehicle IT Design)	29.9%
הנדסת רכב ובדיקות (Vehicle Design and Testing)	11.2%

מבין כל התחומים המקצועיים שמופו עולה כי עיקר הביקוש הינו למהנדסים בעלי תואר ראשון (B.Sc.) שברשותם 3-5 שנות ניסיון. כמו כן, ככלל נראה שעיקר הביקוש כיום הינו למהנדסי מחשבים וחשמל.

המיומנויות החשובות ביותר לתעשייה, כפי שמופו ("Connected and Automated Vehicles Skills Gap Analysis," 2017) במסגרת המחקר שצוין לעיל, הינן מיומנויות בתחום פיתוח והנדסת התוכנה, אבטחת המידע והגנה מפני תקיפות סייבר, הנדסת חשמל וניהול רשתות מחשבים. כמו כן נדרשות מיומנויות לתמיכה במחשוב (user support). מיומנויות אחרות שהופיעו, אם כי בדרישה מועטה יותר, קשורות לתחומי הנדסת המכונות וההנדסה האזרחית. כפי שצוין לעיל, בשל היותה של התעשייה בשלבי מו"פ מוקדמים יחסית, הדרישות עשויות להשתנות ככל שהתעשייה מתפתחת, כך שלדוגמא יהיה בעתיד צורך ביותר מהנדסי מכונות המתמחים בתחום הרכב.

להלן מוצגות המיומנויות המרכזיות וההשכלה הנדרשות עבור תחומי המקצוע שהוצגו בטבלה 13 לעיל.

ניהול מידע ואבטחת סייבר

טבלה 15: תארים אקדמיים דרושים (בסדר יורד) בתחום ניהול מידע ואבטחת סייבר בתעשיית הרכב האוטונומי ("Connected and Automated Vehicles Skills Gap Analysis," 2017)

תואר הנדסי נדרש לעובדים בתחום
מדעי המחשב
הנדסה (כללי)
הנדסת מחשבים
הנדסת חשמל ואלקטרוניקה
ניהול מערכות מידע
הנדסת מערכת
מנהל עסקים
פיסיקה
הנדסת מכונות

המיומנויות הנדרשות לתחום זה קשורות לידע וניסיון בתכנון והפעלת מערכות מידע, ידע ב Linux, Unix אבטחת רשתות מחשבים, יכולות ניהול פרויקטים ושימוש בכלי Microsoft Office.

הנדסת טכנולוגיות המידע לרכב (Vehicle IT Design)

טבלה 16: תארים אקדמיים דרושים (בסדר יורד) בתחום הנדסת טכנולוגיות המידע לרכב (Vehicle IT Design) בתעשיית הרכב האוטונומי ("Connected and automated vehicles skills gap analysis," 2017):

תואר הנדסי נדרש לעובדים בתחום
מדעי המחשב
הנדסה (כללי)
הנדסת מחשבים
הנדסת חשמל ואלקטרוניקה
פיסיקה
ניהול מערכות מידע
הנדסת מכונות
הנדסת מערכת
מערכות מידע
מנהל עסקים

לעובדים בתחום זה נדרש, בין היתר, ידע בשפות מחשב כגון C++, Python, JAVA, כמו גם ידע בתוכנת MATLAB וביכולות עיבוד תמונה. בנוסף, קיימת דרישה לידע ב Linux.

הנדסת הרכב וביצוע בדיקות (Vehicle Design and Testing)

טבלה 17: תארים אקדמיים דרושים (בסדר יורד) בתחום הנדסת הרכב וביצוע בדיקות (Vehicle Design and Testing) בתעשיית הרכב האוטונומי ("Connected and Automated Vehicles Skills Gap Analysis," 2017):

תואר הנדסי נדרש לעובדים בתחום
הנדסה (כללי)
הנדסת חשמל ואלקטרוניקה
מדעי המחשב
הנדסת מחשבים
הנדסת מכונות
פיסיקה
הנדסה אווירונאוטית
מכטרוניקה, רובוטיקה ואוטומציה
מתמטיקה יישומית

לעובדים בתחום זה נדרשות, בין היתר, מיומנויות מחשב ב C++, Java, Linux, Unix, Python, MATLAB. ניכר, כי באופן כללי הדרישות התעשייתיות בשלב זה מתמקדות בעובדים מיומנים, בעלי השכלה אקדמית של תואר ראשון, עם התמחות בתחומי המחשבים והאלקטרוניקה. ידע בתחומי אבטחת המידע והסייבר גם הוא מבוקש מאד בתעשייה זאת.

המחסור בכוח האדם בתחום נובע מהתפתחותו המואצת של התחום ביחס ליכולות וקיבולות הלימוד של האוניברסיטאות כמו גם בכך שמדובר בתחום חדשני הדורש התעדכנות, למידה מתמדת ומולטי-דיסציפלינאריות (Silver, 2018; "Connected And automated Vehicles Skills Gap Analysis," 2017).

תכניות לימודים בתחום הרובוטיקה

מספר אוניברסיטאות בארה"ב מציעות תכניות לימודים בתחום הרובוטיקה החכמה. לדוגמא, ב California Institute of Technology (CalTech) מוצעים קורסים הנוגעים לניווט וראיה רובוטית, קורסים מתקדמים בשימוש ברשתות מחשוב ותקשורת בהקשר הרובוטי ובקינמטיקה רובוטית. מרכז הרובוטיקה ב CalTech מתמקד ביישומים רובוטים חכמים – בעלי יכולת אוטונומית כמו גם אפשרות לעבוד באינטראקציה עם אנשים ("Caltech Computing + Mathematical Sciences | Undergraduate Major in Computer Science," 2018).

פרויקט אדיסון של האיחוד האירופי להגדרת ובניית מקצוע מדעי הנתונים (Data Science)

במסגרת פרויקט אדיסון מטעם האיחוד האירופי ("EDISON: building the data science profession | Edison Project," נבחנו הדרישות לבניית מקצוע מדעי הנתונים על כל היבטיו, תוך התאמתו לצרכי התעשייה ואל מול ההשכלה וגופי הידע הנדרשים ללומדים את התחום. להלן יוצגו ממצאים עיקריים המופיעים בתוצרי המחקר של פרויקט זה. עקב רמת הפירוט הגבוהה של המידע מומלץ לעיין בדוחות המלאים⁴⁹ על מנת לקבל תמונה מלאה ומקיפה הכוללת את כל מרכיבי המקצוע.

בפרויקט אדיסון הוגדרו ארבעה היבטים שונים הנדרשים במקצוע מדעי הנתונים:

1. כישורים (Demchenko, Belloum, & Wiktorski, 2017a)
 2. גופי הידע (Demchenko, Manieri, & Belloum, 2017)
 3. תכניות הלימודים (Demchenko, Belloum, & Wiktorski, 2017b)
 4. פרופילים מקצועיים (Yuri Demchenko & Tomasz Wiktorski, 2017)
- להלן יוצגו ממצאים מרכזיים של כל אחד מהיבטים אלו:

» כישורים⁵⁰

המחקר הציג חמישה סוגים של כישורים הנדרשים לעבודה בתחום מדעי הנתונים:

1. Data Analytics - אנליזת מידע (כדוגמת אנליזה סטטיסטית, למידת מכונה, כריית מידע ואנליזה עסקית)
 2. Data Science Engineering - הנדסת מידע (כדוגמת הנדסת תוכנה ופיתוח אפליקציות, מחסני נתונים, תשתיות וכלים לטיפול ב – Big Data)
 3. Domain Knowledge - ידע מקצועי בתחום המקצועי בו עוסק המידע (מדעי / עסקי וכד')
 4. Data Management - ניהול מידע (כדוגמת סידור מידע, שימור ידע)
 5. Research Methods and Project Management - שיטות מחקר (כדוגמת הצפת שאלות מחקריות והיפותזות והערכת תקפותן על בסיס המידע שנאסף) וניהול פרויקט
- להלן מופיע תיאור תמציתי של סוגי הכישורים השונים.

⁴⁹ <http://edison-project.eu/library>

⁵⁰ Competence: "Competence is a demonstrated ability to apply knowledge, skills and attributes for achieving desirable results" in organizational or role context (European e-Competences Framework (e-CF) definition).

Data Analytics »

כישורים אלו נוגעים לשימוש בשיטות סטטיסטיות ואנליטיות בניתוח הנתונים על מנת למצוא הקשרים במידע ולתת תובנות הקשורות לשאלות מחקריות, תהליכים ארגוניים וקבלת החלטות בתחומים שונים. הכלים שיכולים לשמש ליצירת תובנות עשויים להיות למידת מכונה, כריית מידע, כלים שונים הנוגעים לחיזוי (Predictive Analytics), אנליזות סטטיסטיות, יכולות איסוף וניתוח מידע ממגוון מקורות (כולל Social Media), ומידע ממשלתי) יצירת מודלים לניתוח של מידע וביצוע ולידציה וסימולציה של מודלים אלו. במסגרת כישורים אלו, סביר שיהיה צורך ביכולת לשלב את יכולות הניתוח בעבודת הארגון השוטפת ולהפגין יכולות הצגה חזותית של המידע (Visualization) והצגה של קשרי המידע וזרימת המידע התוך-ארגוניים. בנוסף, שימוש בכלי לימוד שפה טבעית (Natural Language Programming) עשוי להידרש בהיבטים של Data Analytics.

הידע הנדרש ליישום כישורים אלו זו נוגע, בין היתר, ללמידת מכונה (supervised, unsupervised, reinforced), כריית מידע (שיטות סטטיסטיות, שיטות NLP, כריית מידע מטקסט) אנליזה של תוצאות גרפיות, ואנליזה כמותית.

Data Science Engineering »

כישורים אלו נוגעים לשימוש בעקרונות וכלים הנדסיים וחישוביים למחקר ויישום של אפליקציות לאנליזה מידע. פיתוח כלים ממוחשבים, מערכות ותשתיות לתמיכה בטיפול במידע, איסוף, ניתוח, שמירתו והצגתו (כולל יכולות שמירה ועיבוד של נתוני עתק). בין הכלים שיכולים לשמש ליישום כישורים אלו: פלטפורמות לשימוש ב Big Data, פלטפורמות ענן וכן טכנולוגיות לשילוב של מידע מבסיסי נתונים שונים. מיומנויות נוספות קשורות להנדסת כלי המחשוב כך שישמשו לעבודת הארגון השוטפת. נושא אבטחת המידע ושמירה על פרטיות המידע הינם נדבכים חשובים במסגרת מומחיות זאת.

הידע הנדרש נוגע, בין היתר, להנדסת מערכות והנדסת תוכנה, ידע במערכות מחשבים בענן, וטכנולוגיות ל Big Data.

Domain Knowledge »

כישורים אלו עניינם שילוב כלים מתחום מדעי הנתונים עם ידע מקצועי רלוונטי בתחום העיסוק של הארגון על מנת ליצור אפליקציות ולאמץ שיטות עבודה המותאמות ספציפית לכל ארגון. במסגרת זאת, מיומנויות הצרכים הארגוניים בשימוש במידע וסוג המידע הנדרש (כולל, לדוגמה, social media ומידע ציבורי). בנוסף, יצירת כלים לבחינת אינדיקטורים וביצוע אנליזות (כגון אנליזות עסקיות ואנליזות של תהליכים בתוך הארגון) ומיומנויות האתגרים העסקיים השונים העומדים בפני הארגון. כמו כן, שימוש בכלי בינה עסקית (Business Intelligence) על מנת להצביע על מגמות עסקיות והזדמנויות כלכליות והשפעתן האפשרית על הארגון, וכן שימוש במידע היסטורי הקיים בארגון ובמידע הקשור לאינטראקציה עם לקוחות על מנת להפיק תובנות. פן משמעותי נוסף הינו שימוש בכלים ובמידע הקשורים למדעי הנתונים על מנת לנתח ולטייב את התהליכים השיווקיים (Data Driven Marketing Technologies), מערכות לניהול הלקוחות (CRM) ואפליקציות הנוגעות לחוויות המשתמש (User Experience).

הידע העסקי הנדרש נוגע, בין היתר, להבנת אנליזות עסקיות וניהול תהליכים עסקיים על בסיס מידע, ידע באקונומטריה (Econometrics), ובשימושים שונים של בסיסי נתונים למטרות עסקיות.

Data Management »

כישורים אלו נוגעים לפיתוח התכנית הכוללת של ניהול המידע (Data Management Plan) וכתובת מסמכים ונהלים הנוגעים לניהול המידע בהיבטים של איסוף, שימור וזמינות המידע. כמו כן, מיושמים כישורים אלו בתחזוקת ספריות וארכיוני מידע, יצירת metadata ויכולות אחזור למידע קיים, פרסומים ומקורות. נושאים נוספים במסגרת תחום זה הינם סטנדרטיזציה של המידע, בדיקת התאמתו ותקינותו במקרה הצורך, שימור מידע היסטורי ותמיכה בכל "מעגל החיים" של המידע הארגוני (data lifecycle). היבטים של אבטחת מידע כחלק מניהול המידע בארגון הינם משמעותיים גם כן במסגרת כישורים אלו.

גופי הידע הנדרשים לכישורים אלו נוגעים, בין היתר, להבנת ניהול ידע ותשתיות ידע של ארגונים פרטיים וציבוריים, מערכות לשימור ידע וניהול ספריות, מבנה וארכיטקטורה של שמירת מידע, תהליכי זרימת המידע ויצירת Metadata.

» Research Methods and Project Management

כישורים אלו נוגעים ליצירת תובנות חדשות ומידע חדש על ידי שימוש בכלים מדעיים של שיטות מחקר. אלו כוללים לימוד שיטתי של העובדות מתוך המידע שנאסף ובחינת שיטות המחקר והשאלות המחקריות ביחס ליעדי הארגון. בנוסף, אלו כוללים גם את תכנון השיטות לאיסוף ובחינת המידע על מנת להוכיח או להפריך היפותזות שונות ולצורך פתרון בעיות המתעוררות במסגרת עבודת הארגון. ככלל, ניתן לציין מספר שלבי עבודה הכלולים במומחיות זאת: תכנון הניסוי/שאלת המחקר, איסוף המידע, ניתוח המידע, זיהוי תבניות או חוקיות, יצירת היפותזה ובדיקתה. יש לציין כי תידרש גם הבנה בתחום העיסוק המקצועי של הארגון. ניהול הפרויקט על כל היבטיו (ניהול סיכונים, ניהול צוות, נושאי איכות המידע) אף היא אחת המיומנויות הנדרשות בתחום זה, ועל כן להבנה בשיטות המחקר יש לצרף גם ידע בסיסי בניהול פרויקטים לצורך הוצאה מהכוח אל הפועל של העבודה המחקרית.

הידע הנדרש לכישורים אלו נוגע, בין השאר, לשיטות מחקר ועריכת ניסויים, איסוף מידע והערכת איכותו, ידע והבנה בבניית תכניות כוללות לטיפול במידע בארגון ובניהול פרויקטים.

» תוכנות, כלים ומיומנויות

לעובדים בתחום מדעי הנתונים נדרש ידע בשימושים שונים של כלים ותוכנות במגוון תחומים⁵¹ כגון כלים לניתוח אנליטי וסטטיסטי, ידע בדליית מידע מתוך בסיסי נתונים, הצגת מידע (visualization), ניהול וסידור מידע, פלטפורמות של Big Data והבנה ופיתוח כלים הקשורים לניהול פרויקטים.

לעובד העוסק בניתוח אנליטי וסטטיסטי נדרשת היכרות עם מספר שפות תכנות וכלים לאנליזת מידע. אלו הם, לדוגמה, Excel Data Analytics, R, Python, Julia, SAS, SPSS, Knime, Orange, WEKA. כמו כן, עליו להכיר כלי תכנות כלליים כגון JavaScript, Java, C++/C. בנוסף, נדרש ידע בטכנולוגיות Big Data כדוגמת Spark ו-Hadoop ובמיוחד כאלו העושות שימוש בטכנולוגיות ענן וזאת בשל העובדה שטכנולוגיות רבות כיום עושות שימוש בענן כבסיס הנתונים לביצוע האנליזות. לעיסוק בבסיסי הנתונים עצמם נדרשת היכרות עם מספר כלים כגון MongoDB, Hive, Oracle, SQL, mySQL (רשימה חלקית). יכולות הצגה חזותיות של מידע עושות שימוש בכלי תכנות כגון Raphael ו-Tableau. קיימים גם כלים הזמינים ברשת האינטרנט כגון Google Charts.

לצד הידע המקצועי, קיימות גם מספר מיומנויות אישיות הדרושות לעוסקים בתחום זה. בין היתר, נדרשות חשיבה ביקורתית, יכולות שיתוף פעולה, יכולת הפרדה בין עיקר לטפל והבנת חשיבותו של המידע הגולמי ואופני השימוש בו לטובת הארגון.

» רמות התמקצעות בתחום מדעי הנתונים⁵²

ההתמחות וההבנה של הכלים השונים ואפשרויות השימוש בהם, דורשות מספר שנים של עיסוק בתחום. ככלל, פרק הזמן המינימלי הדרוש ליכולת לפתח יכולת ניתוח מתקדמת העונה על צרכי הארגון הינה כ-3 שנים. ניתן, באופן כללי, להגדיר שלוש רמות של התמקצעות:

מתחיל – השלב הבסיסי שמגדיר את מינימום היכולת הנדרשת לעבודה בתחום (תחת בקרת עובדים מיומנים).

מקצועי – עובד המסוגל לבצע מטלות מורכבות באופן עצמאי ולפתח כלים תוך שימוש במגוון שפות תכנות ופלטפורמות לפיתוח אפליקציות שונות.

⁵¹ (Demchenko, Belloum, et al., 2017) רשימה מלאה של כל כלי התכנות הנדרשים בחלוקה לתחומים ניתן למצוא (עמוד 24)

⁵² טבלאות המסכמות את הדרישות של תתי ההתמחויות השונות, בהיבטים של רמת המקצועיות, כלי העבודה והידע הנדרש מופיעות בעמוד 34 במקור: (Demchenko, Belloum, et al., 2017)

מומחה – בעל ידע נרחב בתחומים של אנליזה עם מגוון כלים. בעל יכולות בתחום ההנדסה, ניהול המידע ושימוש בפלטפורמות לטיפול במידע רב. זוהי על פי רוב עמדה ניהולית כדוגמת מנהל צוות של מדעני מידע.

» גופי הידע

בטבלה 18 להלן מוצגים באופן מפורט גופי ידע (Bodies of Knowledge) נדרשים בכל אחד מהכישורים שצוינו לעיל⁵³.

טבלה 18: גופי ידע (Bodies of Knowledge) נדרשים בכל אחד מהכישורים

כישורים	גוף הידע הנדרש
Data Analytics	Statistical Methods for Data Analysis
	Machine Learning
	Data Mining
	Text Data Mining
	Predictive Analytics
	Computational Modelling, Simulation and Optimization
Data Science Engineering	Big Data Infrastructure and Technologies
	Infrastructure and Platforms for Data Science Applications
	Cloud Computing technologies for Big Data and Data Analytics
	Data and Applications Security
	Big Data Systems Organization and Engineering
	Data Science (Big Data) Applications Design
	Information Systems (to support data driven decision making)
Data Management	Data Management and Organization
	Data Management Systems
	Data Management and Enterprise Data Infrastructure
	Data Governance
	Big Data Storage (large scale)
	Digital Libraries and Archives
Research Methods and Project Management	Research Methods
	Project Management
Domain Knowledge (Applied to Business Analytics)	Business Analytics Foundation
	Business Analytics Organization and Enterprise Management

על בסיס (Demchenko, Manieri, et al., 2017)

⁵³ להרחבה ופירוט תתי התחומים של גופי הידע ראו עמ' 18 במקור (Demchenko, Manieri, et al., 2017)

» יעדי הלמידה ותכניות הלימודים

במסגרת פרויקט אדיסון גובשו המלצות לבניית תכניות לימודים שתהיינה רלוונטיות להטמעת גופי הידע השונים כפי שפורטו לעיל. ההמלצות מתייחסות לתוצאות הרצויות מקורסי הלמידה (Learning Outcomes) והיעדים הנדרשים מהלומדים בהם, תוך ניסיון לשלב בין צד הביקוש (התעשייה) וההיצע (המוסדות המלמדים והסטודנטים). להלן יוצגו עיקרי הממצאים עבור ההתמחויות השונות כפי שגובשו בפרויקט.

טבלה 19: 54 יעדי למידה מרכזיים⁵⁵ בחלוקה לרמות מיומנות נדרשת: היכרות (Familiarity), שימוש (Usage), הערכה (Assessment)

כישורים	רמת מיומנות נדרשת	יעדי הלמידה
Data Analytics	Familiarity	Choose appropriate existing analytical method and operate existing tools for specified data analysis. Present data in the required form.
	Usage	Develop data analysis application for specific data sets and tasks or processes. Identify necessary methods and use them in combination if necessary. Identify relations and provide consistent reports and visualizations.
	Assessment	Create formal model for the specific organizational tasks and processes and use it to discover hidden relations, propose optimization and improvements. Develop new models and methods if necessary. Recommend and influence organizational improvement based on continuous data analysis.
Data Science Engineering	Familiarity	Identify and operate instruments and applications for data collection, analysis and management
	Usage	Model problems and develop new instruments and applications for data collection, analysis and management following established engineering principles.
	Assessment	Evaluate instruments and applications to optimize data collection, analysis and management.
Data Management	Familiarity	Execute data strategy in a form of Data Management Plan and illustrate how available software can help to promote data quality and accessibility.
	Usage	Develop components of data strategy and methods that improve quality, accessibility and publications of data.
	Assessment	Create Data Management Plan aligned with the organizational needs, evaluate privacy and ethical issues.
Research Methods and Project Management	Familiarity	Match elements of scientific or similar method and identify appropriate actions for organizational strategy to create new capabilities.
	Usage	Apply scientific or similar method and develop action plans to translate organizational strategies to create new capabilities.
	Assessment	Evaluate methodologies to optimize the development of organizational objectives.
Domain Knowledge (Business Related)	Familiarity	Match elements of a mathematical framework to a given business problem and operate data support services for other organizational roles
	Usage	Model business problems into an abstract mathematical framework and identify critical points which influence development of organizational objectives
	Assessment	Evaluate various methods to predict which method can optimize solving business problems and recommend strategies that optimize the development of organizational objectives

⁵⁴ הרשימה המלאה והמפורטת מוצגת בעמודים 16-21 ב-Demchenko, Belloum, et al., 2017

⁵⁵ על פי Demchenko, Belloum, et al., 2017

התמהיל המומלץ לתכניות הלימודים לתואר ראשון ושני מוצג אף הוא במסגרת מחקר זה. מבין גופי הידע שנמנו, ניתן דגש בלימודי תארים אלו לתחומי ה - Machine Learning, Big Data Systems, Infrastructure and Cloud Computing | Predictive Analytics, Platforms for Data Science.⁵⁶

» פרופילים מקצועיים

במסגרת פרויקט אדיסון מופו הפרופילים המקצועיים השונים הקיימים במקצועות ה-Data Science. אלו חולקו למספר קבוצות: Managers, Professionals, Technicians and associate, General and keyboard clerks.

בטבלה 20 להלן יוצגו המקצועות השונים על פי חלוקה זאת, תיאור קצר של המקצוע וכן הכישורים העיקריים הנדרשים עבור כל אחד מהפרופילים המקצועיים על פי (Yuri Demchenko & Tomasz Wiktorski, 2017)⁵⁷

טבלה 20: הפרופילים המקצועיים השונים הקיימים במקצועות ה-Data Science

קבוצה	שם הפרופיל המקצועי - השם העיקרי (מודגש) ושמות אפשריים נוספים	תיאור הפרופיל	מומחיות עיקרית
Data Sciences Services or Infrastructure Managers	Data Science Group Manager Manager Analytics Dept.	Proposes, plans and manages functional and technical evolutions of the data science operations within the relevant domain (technical, research, business).	Data Management
	Data Science Infrastructure Manager Big Data Infrastructure Manager	Proposes plans and manages functional and technical evolutions of the big data infrastructure within the relevant domain (technical, research, business)	Data Management Data Engineering
	Research Infrastructure Manager Research Infrastructure Data Storage Facilities Manager	Proposes plans and manages functional and technical evolutions of the research infrastructure within the relevant scientific domain	Data Management Data Engineering
Data Science Professionals	Data Scientist ⁵⁸	Data scientists find and interpret rich data sources, manage large amounts of data, merge data sources, ensure consistency of data-sets, and create visualizations to aid in understanding data. Build mathematical models, present and communicate data insights and findings to specialists and scientists, and recommend ways to apply the data.	Data Analytics Research Methods
	Data Science Researcher ⁵⁸	Data Science Researcher applies scientific discovery research/process, including hypothesis and hypothesis testing, to obtain actionable knowledge related to scientific problem, business process, or reveal hidden relations between multiple processes.	Research Methods
	Data Science Architect Systems Architect Application Architect	Designs and maintains the architecture of Data Science applications and facilities. Creates relevant data models and processes workflows	Data Engineering
	Data Science Application Programmer / Engineer	Designs/develops/codes large data (science) analytics applications to support scientific or enterprise/business processes	Data Science Engineering

⁵⁶ להרחבה ופירוט חלוקת נקודות הזכות המוצעות ללימודי התואר ראו עמ' 25 ב-Demchenko, Belloum, et al., 2017.

⁵⁷ Yuri Demchenko & Tomasz Wiktorski (2017) להרחבה הכוללת גם דירוג של רלוונטיות הכישורים לפרופיל ראו עמ' 16-20 ב-

(Tomasz Wiktorski, 2017)

⁵⁸ אך זהו פרופיל אחר כפי שמופיע בהמשך. ישנם מקרים בהם באופן שגוי פרופיל זה נקרא Data Analyst.

קבוצה	שם הפרופיל המקצועי - השם העיקרי (מודגש) ושמות אפשריים נוספים	תיאור הפרופיל	מומחיות עיקרית
	Data Analyst	Analyses large variety of data to extract information about system, service or organization performance and present them in usable/actionable form	Data Analytics
	Business Analyst	Analyses large variety of data Information System for improving business performance	Data Analytics Domain Knowledge
Data Handling Professionals	Data Stewards	Plans, implements and manages (research) data input, storage, search, presentation; creates data model for domain specific data; support and advice domain scientists/ researchers. Creates data model for domain specific data, support and advice domain scientists/researchers during the whole research cycle and data management lifecycle	Data Management
	Digital data curator	Finds, selects, organizes, shares (exhibits) digital data collections, maintains their integrity, up-to date status and freshness.	Data Management
	Data Librarians	Data librarians perform or support one or more of the followings: acquisition (collection development), organization (cataloguing and metadata), and the implementation of appropriate user services. Data librarians apply traditional librarianship principles and practices to data management, including data citation, digital object identifiers (DOIs), ethics and metadata.	Data Management
	Data Archivists	Maintain historically significant collections of datasets, documents and records, other electronic data, and seek out new items for archiving	Data Management
Database and Network Professionals	Large scale (cloud) database designer	Designs/develops/codes large scale data bases and their use in domain/subject specific applications according to the customer needs	Data Management Data Engineering
	Large scale (cloud) database administrator	Designs and implements, or monitors and maintains large scale cloud databases	Data Management
	Scientific database administrator	Designs and implements, or monitors and maintains large scale scientific databases	Data Management
Data Infrastructure Engineers and Technicians	Big Data facilities Operator	Manages daily operation of facilities, resources, and responds to customer requests. Includes all operations related to data management and data lifecycle	Data Management
	Large scale (cloud) data storage operator	Manages daily operation of cloud storage, including related to data lifecycle, and responds to requests from storage users	Data Management
	Scientific database operator	Manages daily operation of scientific databases, including related to data lifecycle, and responds to requests from database users	Data Management
Data and Information Entry and	Data Entry Worker	Enter data into data management systems directly reading them from source, documents or obtained from people/users Enter data from disconnected sensors or doing direct counting or reading	Data Management
	User Support Data Services	Provides support to users to entry their data into governmental service and user facing applications	Data Management

- A quarterly report on developer trends in the cloud. (n.d.). Retrieved from <https://assets.digitalocean.com/currents-report/DigitalOcean-Currents-Q1-2018.pdf>
- Abbas, S. M. (2015). Advanced Hybrid Simulation Model based on Phenomenology and Artificial Intelligence. Retrieved from https://etd.ohiolink.edu/pg_10?0::NO:10:P10_ACCESSION_NUM:ucin1427963095
- About BD2K | Data Science at NIH. (2017). Retrieved July 12, 2018, from <https://datascience.nih.gov/bd2k/about>
- Adegbindin, M. K. A. (2017). Control Power Optimization using Artificial Intelligence for Forward Swept Wing and Hybrid Wing Body Aircraft. Retrieved from <https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/74950>
- AKIRA HAYAKAWA. (n.d.). Japanese startup, Indian students team to develop AI - Nikkei Asian Review. Retrieved April 22, 2018, from <https://asia.nikkei.com/Business/Japanese-startup-Indian-students-team-to-develop-AI>
- Bourgi, S. (2017). BIG DATA & THE INTELLIGENCE ECONOMY CANADA'S HYPER CONNECTED LANDSCAPE INFORMATION AND COMMUNICATIONS TECHNOLOGY COUNCIL (ICTC). Retrieved from <https://www.ictc-ctic.ca/wp-content/uploads/2015/12/BIG-DATA-2015.pdf>
- BS CSE Specialization Options. (2018). Retrieved from https://cse.osu.edu/sites/cse.osu.edu/files/uploads/bs_cse_specializations.pdf
- Bughin, J., Manyika, J., Woetzel, J., Mattern, F., Michael Chui, chairman, Lund, S., ... Pinkus, G. (2016). THE AGE OF ANALYTICS: COMPETING IN A DATA-DRIVEN WORLD. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business Functions/McKinsey Analytics/Our Insights/The age of analytics Competing in a data driven world/MGI-The-Age-of-Analytics-Full-report.ashx>
- Caltech Computing + Mathematical Sciences | Undergraduate Major in Computer Science. (2018). Retrieved June 19, 2018, from http://www.cms.caltech.edu/academics/ugrad_cs
- Connected and Automated Vehicles Skills Gap Analysis. (2017). Retrieved from https://winintelligence.org/wp-content/uploads/2017/03/WIN_ATLAS-UMTRI_Report-singlepages-rs.pdf
- Costa, C., & Santos, M. Y. (2017). The data scientist profile and its representativeness in the European e-Competence framework and the skills framework for the information age. *International Journal of Information Management*, 37(6), 726–734. <https://doi.org/10.1016/J.IJINFOMGT.2017.07.010>
- CS Artificial Intelligence Track Program Sheet. (n.d.). Retrieved from https://cs.stanford.edu/degrees/undergrad/ProgramSheets/CS_AI_1718PS.pdf
- Dario, P., Verschure, P. F. M. J., Prescott, T., Cheng, G., Sandini, G., Cingolani, R., ... Albu-Schäffer, A. (2011). Robot Companions for Citizens. *Procedia Computer Science*, 7, 47–51. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2011.12.017>
- Data Driven What students need to succeed in a rapidly changing business world. (2015). Retrieved from <https://www.pwc.com/us/en/faculty-resource/assets/pwc-data-driven-paper-feb2015.pdf>
- Data Science at NIH |. (2018). Retrieved July 19, 2018, from <https://datascience.nih.gov/>
- Demchenko, Y., Belloum, A., & Wiktorski, T. (2017a). EDISON Data Science Framework: Part 1. Data Science Competence Framework (CF-DS). Retrieved from http://edison-project.eu/sites/edison-project.eu/files/filefield_paths/edison_cf-ds-release2-v08_0.pdf

- Demchenko, Y., Belloum, A., & Wiktorski, T. (2017b). EDISON Data Science Framework: Part 3. Data Science Model Curriculum (MC-DS). Retrieved from http://edison-project.eu/sites/edison-project.eu/files/attached_files/node-447/edison-mc-ds-release2-v03.pdf
- Demchenko, Y., Manieri, A., & Belloum, A. (2017). EDISON Data Science Framework: Part 2. Data Science Body of Knowledge (DS-BoK). Retrieved from http://edison-project.eu/sites/edison-project.eu/files/filefield_paths/edison_ds-bok-release2-v04.pdf
- Dunn, M. C., & Bourne, P. E. (2017). Building the biomedical data science workforce. *PLoS Biology*, 15(7), e2003082. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2003082>
- ECE 448 - Introduction to Artificial Intelligence. (2018). Retrieved June 19, 2018, from <https://ece.illinois.edu/academics/courses/profile/ECE448-120158>
- EDISON: building the data science profession | Edison Project. (n.d.). Retrieved May 8, 2018, from <http://edison-project.eu/>
- Education – Google AI. (n.d.). Retrieved June 19, 2018, from <https://ai.google/education/>
- Flinders, K. (2017). UK at risk of AI skills crisis. Retrieved April 23, 2018, from <https://www.computerweekly.com/news/450427634/UK-at-risk-of-AI-skills-crisis>
- Gan-El Oshrit. (2018). ראיתי כבר הכול - גלובס AI-יש מלחמה על עובדים בתחום ה. Retrieved April 23, 2018, from <https://www.globes.co.il/news/article.aspx?did=1001224848>
- Gloria, M. (2016). Crime Intelligence 2.0: Reinforcing Crowdsourcing using Artificial Intelligence and Mobile Computing. Retrieved June 19, 2018, from <http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=8&sid=199134e0-2d60-49cc-84fc-b505a6fa6d14%40sessionmgr103&bdata=JnNpdGU9ZWZWhvc3QtbGl2ZQ%3D%3D#AN=5D697907F8E27540&db=ddu>
- Gurney, J. (2017). Application of naïve Bayesian artificial intelligence to referral refinement of chronic open angle glaucoma. Retrieved from <http://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.707547>
- Hall, W., & Pesenti, J. (2017). GROWING THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE INDUSTRY IN THE UK. Retrieved from https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/652097/Growing_the_artificial_intelligence_industry_in_the_UK.pdf
- Investing in America's data science and analytics talent. (2017). Retrieved from http://www.bhef.com/sites/default/files/bhef_2017_investing_in_dsa.pdf
- Kahn Jeremy. (2018). Just How Shallow is the Artificial Intelligence Talent Pool? - Bloomberg. Retrieved April 23, 2018, from <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-02-07/just-how-shallow-is-the-artificial-intelligence-talent-pool>
- Levy, R. (2018). כמה כסף לבקש? האנשים שמחליטים אם תתקבלו לעבודה בהיי-טק. - TechNation - TheMarker. Retrieved July 24, 2018, from <https://www.themarker.com/technation/.premium-MAGAZINE-1.6292341>
- LinkedIn Economic Graph Team. (2017). LinkedIn's 2017 U.S. Emerging Jobs Report. Retrieved April 23, 2018, from <https://economicgraph.linkedin.com/research/LinkedIns-2017-US-Emerging-Jobs-Report>
- Markow, W., Braganza, S., Taska, B., Hughes, D., & Miller, S. (2017). THE QUANT CRUNCH: HOW THE DEMAND FOR DATA SCIENCE SKILLS IS DISRUPTING THE JOB MARKET. Retrieved April 22, 2018, from <https://www-01.ibm.com/common/ssi/cgi-bin/ssialias?htmlfid=IML14576USEN>
- Markow, W., Braganza, S., Taska, B., Hughes, D., & Miller, S. (2017). *The Quant Crunch*. Retrieved from <https://www-01.ibm.com/common/ssi/cgi-bin/ssialias?htmlfid=IML14576USEN>

- Metz Cade. (2017). Building A.I. That Can Build A.I. - The New York Times. Retrieved April 23, 2018, from <https://www.nytimes.com/2017/11/05/technology/machine-learning-artificial-intelligence-ai.html>
- MS Electives - Machine Learning Department - School of Computer Science - Carnegie Mellon University. (2018). Retrieved June 19, 2018, from <https://www.ml.cmu.edu/academics/ms-electives.html>
- MS in Machine Learning - Machine Learning Department - School of Computer Science - Carnegie Mellon University. (2018). Retrieved June 19, 2018, from <https://www.ml.cmu.edu/academics/ms-curriculum.html>
- Nickelsburg, M. (2018). Top schools for AI: New study ranks the leading U.S. artificial intelligence grad programs – GeekWire. Retrieved June 19, 2018, from <https://www.geekwire.com/2018/top-schools-ai-new-study-ranks-leading-u-s-artificial-intelligence-grad-programs/>
- Nicolaus, H., Bughin, J., Chui, M., Manyika, J., Saleh, T., Wiesman, B., & Sethupathy, G. (2016). *The age of analytics: Competing in a data-driven world*. McKinsey Global Institute. <https://doi.org/10.1111/bjet.12230>
- NIH releases strategic plan for data science | National Institutes of Health (NIH). (2018). Retrieved July 12, 2018, from <https://www.nih.gov/news-events/news-releases/nih-releases-strategic-plan-data-science>
- O*NET OnLine - Robotics Engineers. (n.d.). Retrieved April 26, 2018, from <https://www.onetonline.org/link/summary/17-2199.08>
- Ohnsman, A. (2017). Autonomous Car Race Creates \$400k Engineering Jobs For Top Silicon Valley Talent. Retrieved April 29, 2018, from <https://www.forbes.com/sites/alanohnsman/2017/03/27/autonomous-car-race-creates-400k-engineering-jobs-for-top-silicon-valley-talent/#6cc0815b14a3>
- Online Artificial Intelligence Courses | Microsoft Professional Program. (2018). Retrieved June 19, 2018, from <https://academy.microsoft.com/en-us/professional-program/tracks/artificial-intelligence>
- Owen-Hill, A. (2016). How to benefit from the robotic skill shortage | Robohub. Retrieved April 26, 2018, from <http://robohub.org/how-to-benefit-from-the-robotic-skill-shortage/>
- Perrault, R., Brynjolfsson, E., Openai, J. C., Manager, P., & Legassick, C. (2017). AI Index 2017 Annual Report. Retrieved from <https://aiindex.org/2017-report.pdf>
- Pompa C, & Burke T. (2017). Data Science and Analytics Skills Shortage: Equipping the APEC Workforce with the Competencies Demanded by Employers. Retrieved April 22, 2018, from <https://apec.org/Publications/2017/11/Data-Science-and-Analytics-Skills-Shortage>
- Preparing for the Data Science-Driven Era Cisco IT Insights. (2015). Retrieved from <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/enterprise/cisco-on-cisco/i-dc-09022015-preparing-for-data.pdf>
- Professional Certificate Program in Machine Learning and Artificial Intelligence | Programs for Professionals | MIT Professional Education. (2018). Retrieved June 19, 2018, from <http://professional.mit.edu/programs/short-programs/professional-certificate-program-machine-learning-AI>
- Rao, A. S., & Verweij, G. (2017). Sizing the prize. Retrieved from <https://www.pwc.com/gx/en/issues/analytics/assets/pwc-ai-analysis-sizing-the-prize-report.pdf>
- Risdal, M. (2017). Becoming a Data Scientist: Profiling Cisco's Data Science Certification Program | No Free Hunch. Retrieved May 22, 2018, from <http://blog.kaggle.com/2017/03/02/becoming-a-data-scientist-profiling-ciscos-data-science-certification-program/>

- Shahsavaran, S. (2018). Speech Emotion Recognition using Convolutional Neural Networks. *Computer Science and Engineering: Theses, Dissertations, and Student Research*. Retrieved from <https://digitalcommons.unl.edu/computerscidiss/150>
- Silver, D. (2018). Limited talent pool is standing in the way of driverless cars. Retrieved April 29, 2018, from <https://thenextweb.com/contributors/2018/01/20/limited-talent-pool-standing-way-driverless-cars/>
- Stanford University Undergraduate Major in Computer Science. (2011). Retrieved June 19, 2018, from <https://cs.stanford.edu/degrees/undergrad/Tracks.shtml>
- Strife, A. (2015). 7 key skills required for Machine Learning jobs. Retrieved June 19, 2018, from <http://bigdata-madesimple.com/7-key-skills-required-for-machine-learning-jobs/>
- Tableau. (2016). The State of Data Education 2016. Retrieved May 22, 2018, from <https://www.tableau.com/data-education-2016>
- Van der Meulen, R. (2017). 2017: The Year That Data and Analytics Go Mainstream - Smarter With Gartner. Retrieved April 23, 2018, from <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/2017-the-year-that-data-and-analytics-go-mainstream/>
- Vectors | Department of Computer Science. (2018). Retrieved June 19, 2018, from <http://www.cs.cornell.edu/undergrad/csmajor/vectors#ML-TRACK>
- Why Data Science Is Such A Hot Career Right Now. (2017). Retrieved April 23, 2018, from <https://www.forbes.com/sites/quora/2017/10/25/why-data-science-is-such-a-hot-career-right-now/#75f91087106b>
- Why data science jobs are in high demand? | The CutShort Blog. (2018). Retrieved April 23, 2018, from <https://cutshort.io/blog/career-advice/why-data-science-jobs-are-in-high-demand>
- Wollenhaupt Gary. (2014). Demand for Robotics Engineers Grows | Product Lifecycle Report. Retrieved April 26, 2018, from <http://blogs.ptc.com/2014/10/30/demand-for-robotics-engineers-grows/>
- Work in the automation age: sustainable careers today and into the future. (2017). Retrieved from www.a3automate.org
- Yuri Demchenko, Y., & Tomasz Wiktorski, T. (2017). EDSF Release 2: Part 4. Data Science Professional Profiles (DSPP). Retrieved from http://edison-project.eu/sites/edison-project.eu/files/attached_files/node-486/edison-dspp-release2-v04.pdf
- . (2018). Retrieved from https://www.gov.il/BlobFolder/pmopolicy/des3709_2018/he/digital290418.pdf
- סיכום 2017 ותחזיות ל 2018 בתעשיות ההייטק והביוטק | סקרי שוק וניתוח מגמות בהייטק וביוטק | אתוסיה. (2017). Retrieved April 22, 2018, from <https://www.ethosia.co.il/content/ההייטק-והביוטק>

נספח 3: קידום ופיתוח עובדים בבינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה במדינות נבחרות

◀ הקדמה

בחלק זה של העבודה סקרנו את הצעדים בהם נוקטות ממשלות ברחבי העולם, ובעיקר במדינות שנהוג להתייחס אליהן כ'מדינות ברות השוואה' עם מדינת ישראל, לקידום אזרחיהן על מנת שירכשו מיומנויות מתאימות לצרכי העולם הדיגיטלי החדש: בבינה מלאכותית, במדעי המידע, ברובוטיקה ובאבטחת סייבר. גילינו מספר קווים מנחים:

- א. כל המדינות שנסקרו הכירו בחשיבותן של המיומנויות הדיגיטליות. גם במקרה שלא הייתה למדינות תכנית אסטרטגית של ממש לקידום המיומנויות באחד או יותר מהתחומים הללו, הן לקחו חלק בקונסורציומים בינלאומיים גדולים יותר (כפי שאירע במדינות אירופה בד"כ) על מנת לקדם את כוח העבודה שלהן.
- ב. קיימים הבדלים גדולים בין המדינות השונות מבחינת האסטרטגיות הממשלתיות, אופן יישומן ורמת תקצובן.
- ג. למרות תפקידה של הממשלה בחינוך ובהכשרת העובדים, קיימות יוזמות רבות בכיוון זה המגיעות מהציבור (בצורה של מרכזים עצמאיים או עמותות), או ישירות מהתעשייה.
- ד. מדינות רבות מנסות ליצור תשתית אקדמית ברמה גבוהה כדי למנוע 'זליגת מוחות' של אנשי המקצוע, אנשי המחקר והסטודנטים למדינות המבוססות יותר, כסין וכארצות הברית.
- ה. קיימת הבנה גורפת שיש צורך ב- 'תנועת מלקחיים': מצד אחד לתמוך באקדמיה על מנת להגדיל את מספר הבוגרים בתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה, ומצד שני לתמוך בתכניות הכשרה-מחדש ואימון לעובדים בתעשייה, על מנת לאפשר להם לרכוש מקצוע שימושי בתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה.

◀ בריטניה

בריטניה ובינה מלאכותית

קיימות שתי אגודות ותיקות בבריטניה המתמקדות בתחום הבינה המלאכותית, כגון AISB (Society for the Study of AI and Simulation of Behaviour), ו- BCS-SGAI (The Specialist Group on AI). שתיהן מקדמות את מחקר הבינה המלאכותית ואת הפצת הידע לאנשי מקצוע בתעשייה ולמגזר הציבורי [1, 2].

בדו"ח ששחררו לאחרונה פרופסור וונדי הול וג'רום פסנטי עבור ממשלת בריטניה, הומלץ [3] –

- לפתח תכנית לתואר שני בבינה מלאכותית, שתמומן על-ידי התעשייה. במחזור הראשון אמורים להשתתף 300 סטודנטים בתכנית.
- לערוך חקר שוק על-מנת לפתח קורסים שיאפשרו לעובדים להתמקצע מחדש בבינה מלאכותית לפי צרכי המעסיקים. ההתמקצעות מחדש אמורה לארוך שנה אחת, ותהיה מכוונת לבוגרים בתחומים שאינם קשורים למחשוב ולמדעי המידע.
- לפתוח מאתיים משרות לדוקטורנטים בבינה מלאכותית באוניברסיטאות המובילות בבריטניה, שימשכו מועמדים מתחומים שונים ומכל העולם. מספר הסטודנטים אמור לגדול מדי שנה.
- לעודד אוניברסיטאות לפתוח קורסי בינה מלאכותית מקוונים המספקים נקודות זכות אקדמיות, ולתמוך בפיתוח מקצועי מתמשך שיוביל להשגת תואר שני בתחום.
- לקדם מגוון (diversity) בכוח העבודה בתחום הבינה המלאכותית.

- לפתוח תוכנית מלגות בינלאומית בתחום הבינה המלאכותית בבריטניה. התכנית תיתמך בקרן שתתמקד בזיהוי וגיוס הכשרונות הטובים ביותר, ותוודא שבריטניה פתוחה לקבלת המומחים המתאימים מכל העולם.

בריטניה ומדעי המידע

ממשלת בריטניה פתחה בשנים האחרונות בשת"פ בין שירות הממשלה הדיגיטלי (GDS), המשרד לסטטיסטיקה לאומית (ONS) ומשרד המדע. התכנית אמורה לסייע לממשלה לפענח את הפוטנציאל של מדעי המידע, ולתמוך בפיתוח מיומנויות וכלים שיאפשרו אימוץ של האפשרויות החדשות בכל המחלקות, המשרדים והסוכנויות השונות. התכנית מסייעת לפיתוח המיומנויות במספר דרכים –

- פתיחת אקסלרטור במדעי המידע, שמספק לאנליסטים במגזר הציבורי הזדמנות לפתח כישורים במדעי המידע באמצעות עבודה על אתגרים ממשיים מהתעשייה, בתמיכת מנחים מנוסים [4]. נכון להיום סיימו כבר שישים בוגרים את תכנית האקסלרציה [5].
- פרסום מסגרת מוגדרת היטב ל-38 סוגי משרות שונות בתחום ה- "דיגיטל, מידע וטכנולוגיה" שכל מחלקה בממשלה יכולה להיעזר בהן. עבור כל משרה ניתן למצוא הגדרה של סט המיומנויות, התפקידים ונתיבי הקריירה הנדרשים למימושה [6].
- פתיחת תכנית לתואר שני באנליטיקת מידע בממשלה, הפתוחה לכל עובדי הציבור [7].
- במסגרת שיתוף הפעולה הוצהר על תכנית לפתוח את הידע במדעי המידע לקהל הרחב, בתקווה להתמודד עם אתגרי מדיניות ולתמוך בשירותים ציבוריים [8].

בריטניה ורובוטיקה

ממשלת בריטניה השקיעה בשנים האחרונות 12.5 מיליון פאונד בתמיכה בשלושה מרכזים ברובוטיקה ובמערכות אוטונומיות. אחד מהמרכזים מתמקד בפיתוח מערכות שיט אוטונומיות וחכמות, והשניים האחרים מתמקדים בפיתוח שותפויות עם התעשייה ובסיוע לבתי-עסק חדשניים. אחד מהמרכזים קיבל סיוע נוסף בגובה 12.5 מיליון פאונד ממשיקים פרטיים, לטובת שיתוף הפעולה בין האקדמיה לתעשייה.

בשנת 2014 השקיעה הממשלה 20 מיליון פאונד להקמת ארבעה מרכזים חדשים לאימון דוקטורנטים ברובוטיקה ובמערכות אוטונומיות, שיכשירו את "הדור הבא של מהנדסים מיומנים" [9]. המרכזים אמורים להכשיר למעלה מ-7,000 סטודנטים עד 2020 בתחומים הרלוונטיים [10].

בשנת 2017 פרסמה ממשלת בריטניה תכנית אסטרטגית חדשה, בה היא מתחייבת להשקיע עוד 4.7 מיליארד פאונד במו"פ בתעשייה עד 2020. התכנית מתמקדת, בין היתר, בפיתוח תכנית חינוך והכשרה טכנית בהשקעה של 406 מיליון פאונד בחינוך מתמטי, דיגיטלי וטכני. בנוסף יושקעו 64 מיליון פאונד בהכשרה מחדש של עובדים, במיוחד בתחומי הדיגיטל והבנייה [11].

בריטניה ואבטחת-סייבר

במסגרת התכנית האסטרטגית הלאומית לאבטחת-סייבר, התחייבה ממשלת בריטניה לחזק את מיומנויות אבטחת הסייבר בקרב האוכלוסייה והעובדים במספר דרכים [12] –

- הטמעת תחום אבטחת סייבר במדעי המחשב: סטודנטים הלומדים מדעי המחשב, טכנולוגיה או מיומנויות דיגיטליות ילמדו גם את הבסיס באבטחת סייבר, ויוכלו ליישם את המיומנויות שרכשו בשוק העבודה.
- התמודדות עם חוסר האיזון במגדר בין אנשי המקצוע בתחום הסייבר.
- הקמת קבוצת ייעוץ הכוללת נציגי ממשלה, מעסיקים, ארגונים מקצועיים, ספקי חינוך ואקדמיה. הקבוצה תתמוך בפיתוח אסטרטגיה ארוכת-טווח ותוודא שהכישורים הדיגיטליים הנרכשים על-ידי תלמידים וסטודנטים תואמים להתפתחויות הטכנולוגיות.
- הקמת תכנית לבתי-ספר שתוביל לשינוי בחינוך בתחום אבטחת הסייבר עבור בני-נוער מוכשרים בגילאי 14-18.

- פתיחת תוכניות הכשרה לתואר ראשון ותארים גבוהים במגזרי האנרגיה, הפיננסים והתחבורה, שיתמודדו עם פערי היכולות בתחומים הללו.
- יצירת קרן שתספק הכשרה מחדש לעובדים בשוק העבודה עם פוטנציאל גבוה לעסוק באבטחת סייבר.
- זיהוי ותמיכה בבוגרים מבטיחים באקדמיה בתחום אבטחת הסייבר.
- תמיכה בפיתוח ובהכרה במקצועות הוראה הקשורים לאבטחת סייבר.
- פיתוח מקצוע אבטחת הסייבר.
- פיתוח אקדמיה להגנת סייבר.
- פיתוח הזדמנויות לשת"פ באימון ובחינוך בין הממשלה, כוחות הביטחון, התעשייה והאקדמיה, כולל תשתיות לאימון ולתחזוק יכולות.
- עבודה במשותף עם התעשייה להרחבת תכנית CyberFirst שתזהה ותטפח את הכשרונות הצעירים שיכולים לקחת חלק בביטחון הלאומי.
- הוספת מיומנויות אבטחת סייבר ומיומנויות דיגיטליות כחלק אינטגרלי מקורסים רלוונטיים במערכת החינוך, מבית-ספר יסודי ועד לאוניברסיטאות.

◀ תכנית ה- 2017 – OECD

פרויקט Going Digital הושק רשמית בתחילת 2017, במטרה לעודד את ה-OECD לפתח תכנית מדיניות אסטרטגית בנושאי דיגיטיזציה וההזדמנויות והאתגרים שהיא מעמידה בפני המדינות. הפרויקט אמור לסייע לקובעי המדיניות להבין טוב יותר את השינויים הדיגיטליים המתרחשים, ולפתח כלים שיעזרו ליצור מדיניות שתאפשר לכלכלות ולמדינות לשגשג בעולם שהופך להיות דיגיטלי יותר. הפרויקט יבחן נושאים רלוונטיים חשובים, כעבודות ומיומנויות בעולם של דיגיטיזציה ומידע.

בפגישת שרי ה-OECD בפריס באמצע 2017, נידונו מספר נושאים ונוסחו קביעות ראשוניות שעלו על הכתב בדו"ח המסכם את הפגישה. החלק החשוב ביותר, אותו נסכם להלן, עסק בסיוע לעובדים בהכשרה ובשיבוץ מחדש.

הוסכם כי פיתוחים טכנולוגיים חשובים מן העבר – כמנוע הקיטור, חשמל ופס הייצור – ערערו את הכלכלה ואת החברה. בנוסף, הם גרמו לאובדן משרות משמעותי בטווח הקצר, אך בטווח הארוך נוצרו מספר גדול יותר של משרות עם פיריון ושכר גבוה יותר, ורמת החיים הכללית עלתה.

הדיגיטיזציה משפיעה כבר היום על העובדים, וחלק מהמשרות מתחילות להיעלם כתוצאה מאוטומציה, בעוד שהמיומנויות הנדרשות לעבודה במאה ה-21 משתנות עבור מקצועות רבים. בחלק מהמקרים, תעשיות שלמות מתערערות. הדיגיטיזציה מפחיתה את הצורך במטלות רוטניות וידניות, ומגדילה את הצורך במטלות לא-רוטניות וכאלו המחייבות פתרון בעיות ויכולות בין-אישיות. עם זאת, נכון להיום לא הביאו טכנולוגיות המידע לעלייה ברמת האבטלה הטכנולוגית (כלומר, זו המונעת מהגדילה בפיריון כתוצאה משימוש בטכנולוגיות). הסיבה, כפי הנראה, היא שיישום נכון של דיגיטיזציה לצד שינויים ארגוניים וניהול מתאים, יכול להביא לפיריון גבוה יותר (דבר המתורגם למחירים נמוכים יותר ולמוצרים חדשים), ביקוש גדול יותר למוצרים וכתוצאה מכך – עלייה בתעסוקה.

על אף האמור בפסקה האחרונה, רוב הטכנולוגיות הדיגיטליות מחייבות רמה גבוהה יותר של מיומנות מהעובדים העוסקים בהן. בארצות הברית, למשל, נתח התעסוקה של עובדים במקצועות ברמת מיומנות גבוהה זינק ב-11 אחוזים מ-26% בתחילת שנות השמונים ל-37% בשנת 2012 [13]. באותה התקופה גדלה התעסוקה גם במקצועות במיומנות נמוכה מ-15% ל-18% בארצות הברית. ניתן למצוא דפוס זה גם במדינות אחרות, המעיד על פולריזציה בשוק העבודה כתוצאה מדיגיטיזציה.

ההתפתחויות בטכנולוגיות המידע, האוטומציה, הבינה המלאכותית והרובוטיקה, מבהירות כי עובדים רבים עתידים למצוא את מקצועם משתנה – ולגלות שהמיומנויות שרכשו אינן רלוונטיות עוד. יש צורך לסייע לעובדים אלו בחיפוש עבודה מתאימה במהירות וביעילות, ולצמצם את המחיר שגובה אובדן העבודה מהאינדיבידואל.

הממשלות צריכות להתערב כבר בשלב מוקדם במעגל האבטלה, ולהציע אפשרויות לאימון והכשרה מחדש לעובדים שאיבדו את מקומות עבודתם. בדרך זו יוכלו עובדים רבים ככל האפשר לנצל הזדמנויות תעסוקה חדשות שיצוצו בשוק העבודה.

הדיגיטציה משנה גם את הדרך בה מתארגנים העובדים. קונספטים חדשים כ- "כלכלה שיתופית" או "פלטפורמות למציאת עובדים" מספקות לבתי-עסק גישה למעגל נרחב של עובדים וספקים פוטנציאליים. תחת מתווים אלו, העובדים מוצאים עצמם מועסקים יותר ויותר באופן עצמאי. דרך תעסוקה זו טומנת בחובה יתרונות עבור חלק מהעובדים, ומספקת להם גמישות רבה יותר ואת האפשרות להרוויח שכר נוסף מעבודות צדדיות. עם זאת, עבודות מסוג זה מסתמכות בעיקר על הסכמי תעסוקה שאינם עומדים בסטנדרטים הקיימים כיום בשווקים מבוססים יותר, ומחייבים את העובד להיות עצמאי ולעבוד לזמן קצר בלבד עבור המעסיק. אין ספק שהפלטפורמות השיתופיות יכולות לעזור לרבים במציאת עבודה חדשה, אך הן אינן מספקות ביטחון תעסוקתי, הזדמנויות להכשרה נוספת או כיסוי ביטוחי. הן יכולות גם להגביל את יכולתו של העובד להצטרף לארגוני עובדים ולהתמקח באופן מאורגן על שכרו ותנאי תעסוקתו. קיים צורך בקביעת מדיניות שתבטיח הגנה חברתית וחוקתית לעובדים בפלטפורמות אלו.

כדי להתמודד עם המצב החדש, נקבעו ארבעה תחומים בהם יש צורך לפתח מדיניות חדשה שתסייע לנצל את ההזדמנויות החדשות, כדלקמן –

- דגש על חינוך ברמת בית הספר: יש לוודא שכל התלמידים רוכשים מיומנויות בסיס בקריאה וכתביה, מתמטיקה ופתרון-בעיות, כמו גם מיומנויות מידע בסיסיות ומיומנויות משלימות סוציו-רגשיות שיאפשרו להם לעבוד בקבוצה ולהפגין גמישות ויציבות מחשבתית.
- פיתוח תכניות חינוך והכשרה מחדש מודרניות: יש לבצע הערכות מהירות ולחזות בזמן-אמת את שינויי המיומנות הקרבים, ולפתח מערכות חינוך והכשרה שמגיבות לשינויים הללו. תכניות ומסלולי חינוך מסוג זה יכוונו את הסטודנטים למקצועות ולתחומים עם פוטנציאל הכנסה גבוה בצידם. על מנת לזהות את השינויים מבעוד מועד, יוכלו התוכניות הללו לעקוב אחר המידע הגדול מהרשת ואחר נתוני שוק העבודה.
- התאמת מקומות העבודה למיומנויות החדשות: יש לנצל את המיומנויות החדשות טוב יותר במקומות העבודה, על מנת להשיג פיריון ותחרותיות גבוהים יותר. כדאי לפתח מדיניות שתעודד חברות להטמיע דרכי עבודה יעילות במיוחד, כעבודת-צוות, אוטונומיה בעבודה, אימון, שעות עבודה גמישות ועוד. לצד דחיפת החברות בכיוון זה, יש לטפח גם את המיומנויות הנדרשות לתמיכה בפרקטיקות עבודה אלו.
- סיוע בהכשרה מחדש: יש להציע תמריצים גדולים יותר לאינדיבידואלים ולחברות על מנת לעודד הכשרה מחדש. לשם כך יש להבין גם כיצד טכנולוגיות חדשות ידרשו התאמה מחדש של מקצועות – ומהן המיומנויות הנדרשות מהעובדים במקצועות אלו. למרות המאמץ הממשלתי בכיוון זה, יש להבהיר גם לעובדים עצמם כי יש להם אחריות לטפח ולפתח את יכולותיהם ומיומנויותיהם בעצמם, במיוחד אם הם לוקחים חלק בעבודה בפלטפורמות הדיגיטליות. מתוך כל העובדים, דווקא העובדים הבוגרים במקצועות מיומנות נמוכה ובינונית צפויים להשתתף פחות בהכשרה מרצונם, על אף שהם עשויים לעמוד בפני האיום הגדול ביותר על מקומות עבודתם.

דנמרק

"הצמיחה וההתקדמות העתידיות של דנמרק תלויות מאד בכך שהדורות העתידיים יהפכו למשתמשים מיומנים בטכנולוגיות מידע ויבינו כיצד לפתח ולנתח טכנולוגיות מידע, כך שאינדיבידואלים יוכלו לא-רק להשתתף בחברה הדיגיטלית של העתיד, אלא גם לעזור ליצור אותה."

- התכנית האסטרטגית לצמיחתה הדיגיטלית של דנמרק, 2018 [14]

דנמרק היא אחת המדינות המתקדמות ביותר מבחינת השתלבות הדיגיטציה במגזר התעשייתי. מתוך כל החברות בדנמרק, 42 אחוזים עברו רמה גבוהה של דיגיטציה. נכון לשנת 2017, כחמישה אחוזים מכל החברות בדנמרק שילבו למידת מכונה ובינה מלאכותית בפעילותן [15]. עתה מתכננת הממשלה להשיק את "התכנית

האסטרטגית לצמיחתה הדיגיטלית של דנמרק", בהשקעה של 135 מיליון אירו עד 2025, ועשרה מיליון אירו בכל שנה לאחר מכן [16].

אחד מעיקרי התכנית מתמקד ב- "הנחלת מיומנויות דיגיטליות לכולם". על אף העובדה שדנמרק הינה אחת מהמדינות האירופאיות עם המספר הגדול ביותר של עובדים במקצועות הקשורים לטכנולוגיות מידע, הנדסה ומדע, לדנמרק יש מספר נמוך יחסית של בוגרי STEM (מדע, טכנולוגיה, הנדסה) בשוק העבודה. עד 2025, צפויה דנמרק להזדקק ל-19,000 מומחים לטכנולוגיות מידע – צורך שלא ימומש בהינתן התנאים הנוכחיים. כבר היום, כמחצית מבתי-העסק בדנמרק שניסו לגייס מומחים לטכנולוגיות מידע ב-2016, דיווחו כי נכשלו בניסיונותיהם. מסיבה זו החליטה ממשלת דנמרק להתרכז בפיתוח מיומנויות דיגיטליות והבנה טכנולוגית במערכת החינוך.

מערכת ACE

כדי לענות על הצורך, הקימה ממשלת דנמרק את "מערכת חינוך לבוגרים ולהמשך" (Adult and Continuing Education system – ACE), שאמורה להיות גמישה ולספק מענה לצרכי בתי-העסק במדינה. השאיפה היא כי מערכת ACE תחזק את מיומנויותיהם הדיגיטליות של העובדים בכל שוק העבודה, ותתאים את עצמה במהירות לצרכים המשתנים של השוק.

מערכת ACE תיתמך ביוזמת דיגיטליזציה לאומית אסטרטגית, עם קרן פיתוח שתוקדש למטרה זו עד 2022. בנוסף, ייהנו המשתמשים במערכת מ- "קרן שינוי" שתכלול 12.7 מיליון אירו ותתמוך במוביליות בשוק העבודה. המערכת תפנה למגוון רחב של אזרחים, כולל מועסקים ומובטלים, ילדים וצעירים.

Technology Pact – אוסף יכולות לעתיד דיגיטלי

ממשלת דנמרק התחייבה לייסד "הסכם טכנולוגי" בשנת 2020 עם התעשייה וגופי המסחר, מוסדות חינוך ומוסדות ציבוריים, במטרה לספק לציבור יכולות המתאימות לעתיד טכנולוגי ודיגיטלי. ההסכם הטכנולוגי אמור לסייע לאזרחים לרכוש מיומנויות בטכנולוגיה, מדעי המידע, מדעים מדויקים ומתמטיקה, לפי צרכי השוק והתעשייה. ההסכם הטכנולוגי יסייע לאנשים לפתח וליישם טכנולוגיות, חדשנות, חברות חדשות ומודלים עסקיים חדשים.

ההסכם הטכנולוגי ישמש כקו מנחה ליוזמות לאומיות ומקומיות, ויהווה פלטפורמה להערכה, שיתוף ידע, פיתוח, הרחבה ויישום של יוזמות לקידום עניין וידע בטכנולוגיות מידע. הממשלה תפקח על ההסכם הטכנולוגי באמצעות "מועצת ההסכם הטכנולוגי". מוסדות חינוכיים ובתי-עסק יוזמנו לקחת חלק בהסכם הטכנולוגי וביוזמות בהן הוא תומך. יוזמות נוספות תחת מטריית ההסכם הטכנולוגי יספקו גישה לתלמידים למעבדות וירטואליות, יחזקו את פיתוח 'הכוכבים' בתחומי המדעים המדויקים, וילהיבו את התלמידים בבתי-הספר באמצעות מיזמים דיגיטליים קצרים.

בשנת 2018 הושקעו 2 מיליון אירו בהסכם הטכנולוגי, ובכל שנה בין 2019 ל-2022 יושקעו בהסכם עוד 2.6 מיליון אירו.

מטרותיו הסופיות של ההסכם הטכנולוגי כוללות את הבאות –

- כ-150,000 אנשים יקחו חלק ביוזמות ההסכם הטכנולוגי עד 2020.
- תחול עלייה של עשרים אחוזים במספר אזרחי דנמרק שישלימו מסלול חינוך גבוה בתחומי STEM בעשור הקרוב.
- תחול עלייה של עשרים אחוזים במספר אזרחי דנמרק שישלימו מסלול חינוך תעסוקתי בתחומי STEM בעשור הקרוב.

תכנית לשיפור הבנה טכנולוגית בבתי-הספר

הממשלה תשיק תכנית-מבחן בת ארבע שנים, שתבדוק מודלים שונים לשיפור ההבנה הטכנולוגית בבתי-הספר, ותשקיע גם בפיתוח מיומנויות טכנולוגיות בקרב המורים. לאחר ארבע שנים התכנית תישקל מחדש ותהווה את

הבסיס להבנה כיצד ניתן להנחיל מיומנויות אוריינות טכנולוגית בבתי-הספר. מומחים חיצוניים יבחנו את התוצאות ויספקו תובנות בנוגע למיומנויות שיש לחזק ולמודלים שניתן לבחון בנושאים שונים. בתכנית יושקעו 9.1 מיליון אירו בין השנים 2018 ל- 2021.

דיגיטיזציה של החינוך התעסוקתי

הממשלה תתמקד בדיגיטיזציה של החינוך התעסוקתי בדרכים הבאות –

- הקמת מרכז ליישום טכנולוגיות מידע בחינוך תעסוקתי, במטרה לאסוף ולהרחיב את הידע אודות דיגיטיזציה בחינוך תעסוקתי. בדרך זו יוכלו אנשי המקצוע בתחום להתעדכן במהירות באפשרויות העומדות לרשותם ולוודא שמוסדות החינוך נהנים מהתמיכה הנחוצה לתהליך הדיגיטיזציה.
- הממשלה תתמוך בשילוב פתרונות דיגיטליים במערכות החינוך ובבחינות הסופיות בקורסים תעסוקתיים, כולל במבחני נטיה וכישרון ומבדקים אחרים שנועדו להעריך את יכולותיהם ומוכנותם של התלמידים לקחת חלק בשוק העבודה. תוכנם ואופיים של המבחנים בקורסים התעסוקתיים חייבים לעבור סקירה ופיתוח מחדש על מנת להפיק את המירב מהטכנולוגיות הדיגיטליות.

ביוזמה זו הושקעו 2.42 מיליון אירו בין השנים 2018 ל- 2021.

דיגיטיזציה של החינוך הגבוה

הממשלה מתכוונת לשפר את שיתוף הפעולה בין שחקנים מקומיים במסחר ובתעשייה ומוסדות החינוך על מנת לקדם את הפיתוח ולגרום ליותר אנשים להתעניין בתחומים הטכנולוגיים, הדיגיטליים והמדעים המדויקים. לשם כך הממשלה –

- תיצור תכנית פעולה על מנת לעודד יותר אנשים לבחור, להתקבל ולהשלים תארים גבוהים בתחומי STEM ובתחומים הדיגיטליים.
- תתמקד ספציפית במיומנויות הדיגיטליות ובהגברת האימפקט של דיגיטיזציה על החינוך הגבוה. אסטרטגיה דיגיטלית לחינוך גבוה תפותח על מנת לחזק את מיומנויותיהם הדיגיטליות של הסטודנטים ולתמוך בהרחבת הכלים הדיגיטליים בחינוך.
- תכניות חינוך גבוה רבות אינן עושות שימוש הולם במידע הגדול ממערכות הלוויינים של האיחוד האירופי, למרות העובדה שהנתונים ממערכות אלו הינם באיכות גבוהה וזמינים בעלות נמוכה. הממשלה לפיכך תניע דיאלוג עם מוסדות החינוך על מנת לזהות קורסים רלוונטיים בהם ניתן להשתמש במידע לוויינים, ותצייד את הצוות כך שיוכל לעשות שימוש טוב יותר במידע בלימודים. במסגרת יוזמה זו, הממשלה תשפר את גישתן של חברות לעובדים שיכולים ליצור תכניות לפיתוח עסקי מונעות-מידע.

למרות המטרות המרשימות, יוזמה זו לא תקבל תקציב מעבר לקיים כיום בדנמרק.

פינלנד

פינלנד ובינה מלאכותית

בתכנית הלאומית של פינלנד להיערכות לבינה מלאכותית, מודגשת חשיבות החינוך וההתמקדות דווקא בתחומים שאינם טכנולוגיים מטבעם. לפי כותבי התכנית, עיקר המשרות שייתווספו לשוק יהיו במקצועות בעלי רמה גבוהה של גמישות ומטלות שאינן רוטניות. הגשמת המטלות במקצועות אלו תחייב גמישות מחשבתית, יכולות פתרון בעיות, יצירתיות, כישורי תקשורת והצגה ויכולות בינאישיות מתקדמות. נכון להיום, טכנולוגיות אוטומציה טרם הצליחו לבצע מטלות הדורשות את התכונות הללו באופן יעיל. מכיוון שכך, פינלנד מתכננת להרכיש לתלמידים יכולות אלו כבר בבתי הספר.

תושבי פינלנד נהנים כיום מחינוך ברמה גבוהה, הכולל אפשרות אקדמית לרכישת ידע ברמה גבוהה בתחום הבינה המלאכותית. עם זאת, החינוך בתחום זה באוניברסיטאות מספק את הכלים לשימוש בבינה מלאכותית רק

לסטודנטים בתחומי הטכנולוגיה והמתמטיקה. לא קיימים נתיבים מתאימים לפיתוח ידע עבור מקצועות בהם נעשה שימוש (או ייעשה שימוש כבר בעשור הקרוב) בבינה המלאכותית. פינלנד מתכננת להתמודד עם אתגר זה באמצעות דרכים חדשות להכשרה, לאימון ולחינוך, כגון קורסים מקוונים, דיפלומות וירטואליות ואפילו מוסדות חינוכיים וירטואליים [17].

כחלק מהמאמצים להכשרת הציבור לשימוש בבינה מלאכותית, פתחה אוניברסיטת הלסינקי קורס רשת חינמי בבינה מלאכותית, אליו יכול להצטרף כל אדם. לקורס נרשמו יותר מ-24,000 סטודנטים, והאוניברסיטה מצפה כי לפחות אחוז אחד שלם מאוכלוסיית פינלנד כולה (54,000 פנים) יירשם לקורס [18].

פינלנד ומדעי המידע

אוניברסיטאות וחברות מסחריות בפינלנד תומכות אקטיבית במתן הכשרה במדעי המידע באמצעות האקטונים ומפגשים (meetups) בתחום. קבוצות מקוונות כ-Helsinki Data Analytics & Science Meetup ו-Metric Monday כוללות יותר מאלפי חברים ביחד [19, 20]. קבוצת Open Knowledge Finland מארגנת האקטונים ותחרויות בתחום מדעי המידע, שמסייעות לפינים מכל שכבות החברה ורמות השכלה שונות להתוודע למדעי המידע [21].

מבחינת תארים פורמליים, אוניברסיטת הלסינקי מציעה תכניות לתואר שני באנגלית בתחום מדעי המידע, ואוניברסיטת טמפרה מציעה תכנית דומה באנליטיקה של מידע חישובי גדול [22].

פינלנד ורובוטיקה

שתי אוניברסיטאות בפינלנד מספקות תארים מתקדמים ברובוטיקה. אוניברסיטת אאלטו מציעה תואר שני באוטומציה והנדסת חשמל. הנושאים המרכזיים כוללים מידול, הערכה ובקרה במערכות דינמיות, כמו גם היכרות מעמיקה עם המערכות והתוכנות הקיימות במערכות אוטומציה מודרניות. רוב הקורסים מספקים רקע תיאורטי כמו גם יישום ורכישת ניסיון מעשי. בוגרי התכנית אמורים להיות מסוגלים לתכנן מערכות אוטומציה רובוטיות חדשות ולהבין לעומק, לפחות ברמת התוכנה. הבוגרים מסיימים את התכנית עם התמחות באחד מחמישה תחומים מרכזיים: רובוטיקה, מערכות חכמות, הנדסת בקרה, אוטומציית תוכנה, או אוטומציה במפעל.

באוניברסיטת טמפרה מוצעת תכנית לתואר שני בהנדסת אוטומציה. הלימודים כוללים הרצאות לצד פעילויות לרכישת ניסיון מעשי בתחום. התכנית מתרכזת יותר ברובוטי מפעל גדולים ובמכונות כבדות. לאחרונה פתחה האוניברסיטה במיזם חדש לפיתוח אתר עבודה בו יכולים רובוטים ומכונות אוטונומיות רבות לעבוד זה לצד זה מבלי מעורבות אנושית ישירה. מטרת המיזם היא לפתח סביבת עבודה בה מכונות אוטונומיות ניידות רבות מסוגלות לעבוד זו לצד זו בתזמון מדויק, תוך שהן מאבחנות ופותרות בעיות בכוחות עצמן, ומבלי מעורבות אנושית. האתר יישמש בוודאי גם להכשרת סטודנטים בתחומי הרובוטיקה והאוטומציה [23].

על מנת לשתף את הידע בתחום הרובוטיקה בין אנשי עסקים, חוקרים, בכירי ממשל ואזרחים מן השורה, נפתח בפינלנד האב חדשנות בשם Airo Island, המתמקד בקידום הרובוטיקה, הבינה המלאכותית והאוטומציה בפינלנד. במסגרת ההאב מתארגנות ונערכות סדנאות רובוטיקה שונות, כמו גם אירועים גדולים כשבוע הרובוטיקה [24].

פינלנד וסייבר

התכנית האסטרטגית של פינלנד בתחום אבטחת הסייבר לשנת 2020 כוללת התמקדות מיוחדת בהכשרת אזרחים באבטחת סייבר. וכלשון התכנית –

"מודעות כללית וידע אודות האלמנטים הבסיסיים באבטחת סייבר ואבטחת מידע, נחשבים למיומנויות בסיסיות בחברת המידע הדיגיטלית המודרנית בפינלנד. ... הכשרת מומחים מחייבת תיאום טוב יותר בין [יוזמות] המחקר והחינוך המפוזרים בין מוסדות החינוך..."

התכנית הפינית כוללת התמקדות במספר דרישות לעתיד שאמורות להתמודד עם הצרכים הללו. הדרישות הרלוונטיות ביותר לחלק זה בדו"ח כוללות –

א. שיפור מיומנויות אבטחת המידע ואבטחת הסייבר של כוח האדם בפינלנד: על מנת להשיג מטרה זו, מזכיר מועצת הביטחון יעקוב אחר יעילותם של תרגולים והכשרות בתחום אבטחת הסייבר, ויספק דו"חות התקדמות שנתיים בנושא. משרד הכלכלה יתכנן ויוציא לפועל מיזמים ושירותים לשיפור מיומנותיהם של עובדי ציבור באבטחת מידע ואבטחת סייבר, ויקבע את הרמה הנחוצה לעובדי הציבור בתחומים אלו.

ב. אזרחים יזכו במיומנויות אבטחת מידע ואבטחת סייבר משופרות: ארגון National Defence Training בפינלנד יפתח מדי שנה סילבוס לאבטחת סייבר שיכלול קורסים בסיסיים הפתוחים לכל האזרחים, כמו גם חינוך והכשרה מתמשכים ואימון מיוחד לאנשי המקצוע בתחום.

ג. שבוע אבטחת מידע ואבטחת סייבר לאומי יאורגן מדי שנה: קונפדרציית התעשיית הפינית, בשיתוף פעולה עם משרד הכלכלה, מזכיר מועצת הביטחון וחברות תעשייתיות, יארגנו מדי שנה שבוע אבטחת מידע ואבטחת סייבר לאומי כחלק מחודש אבטחת הסייבר האירופאי. במהלך אותו שבוע, מידע בתחומים הללו יועבר לאזרחים, לחברות ולאנשי הממשל באמצעות סדרה של אירועים ובמדיומים שונים. השבוע יגיע לשיאו ביום אבטחת הסייבר ואבטחת המידע הלאומי.

ד. קידום ההכשרה לציבור ולאנשי המקצוע באבטחת סייבר והסביבה הדיגיטלית: מורים בפינלנד יקבלו הכשרה ויפתחו חומרי לימוד הקשורים לאבטחת סייבר ואבטחת מידע. הסוכנות הלאומית הפינית לחינוך תפתח ותשחרר חומרי לימוד שיקדמו את המיומנויות הבסיסיות בתחומים אלו.

◀ בלגיה

קשה למצוא תכנית אסטרטגית מגובשת בבלגיה הנוגעת לחיזוק יכולות בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה במדינה. על אף קיומו של דו"ח ייעודי מטעם Boston Consulting Group המפרט המלצות כלליות בנוגע לדיגיטיזציה של בלגיה, לא נראה שהמדינה מנסה ליישם באופן פורמלי ומסודר את הנכתב (שלא במפתיע, נכתב בדו"ח אודות בלגיה כי "דיונים אינם מובילים להחלטות קונקרטיות והיישום אינו מהיר מספיק") [25]. עם זאת, קיימות יוזמות נפרדות המעידות כי גורמים שונים בבלגיה מודעים לחשיבות תחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה.

בלגיה ומדעי המידע

בשמונה אוניברסיטאות בבלגיה ניתן ללמוד לתואר שני בתחומים הנוגעים למדעי המידע: מדעי המחשב עם התמקדות במדעי המידע, אנליזה סטטיסטית של מידע, סטטיסטיקה, ביו-אינפורמטיקה ועוד [26].

◀ הולנד

לא קיימת תכנית רשמית ומגובשת בהולנד לקידום בינה מלאכותית, רובוטיקה, או מדעי המידע. עם זאת, קיימות מספר יוזמות נפרדות בתחומים הללו, כמו גם תכנית לאומית אסטרטגית בתחום הסייבר.

הולנד, בינה מלאכותית ורובוטיקה

בסוף שנת 2017 נפתחה באמסטרדם תכנית הכשרה חדשה בבינה מלאכותית, המלמדת אנשים להשתמש בבינה מלאכותית ובלמידת מכונה גם מבלי שיהיו מרקע טכני בנושאים הללו. את התכנית, המכונה "בינה מלאכותית לשיווק ולגדילה", פתחה "אקדמיית שבט הגדילה" (Growth Tribe Academy). הסטודנטים בתכנית ילמדו כיצד להשתמש בבינה מלאכותית לקבלת החלטות מוצלחת יותר וכיצד חברות גדולות משתמשות בבינה מלאכותית. בתכנית שותפות חברות אחרות כמיקרוסופט, והיא זוכה לתמיכה מצד עיריית אמסטרדם [27].

לצד תכנית ההכשרה החדשה, נפתח באמצע 2018 מרכז חדשנות לבינה מלאכותית, בפארק המדע באמסטרדם [28]. מרכז נוסף לבינה מלאכותית ורובוטיקה – של UNICRI (United Nations Interregional Crime and Justice Research Institute) – הוקם בהולנד בסוף 2016. המרכז מפתח ומיישם תכניות הכשרה ואימון בתחומי הבינה המלאכותית והרובוטיקה [29].

הולנד ומדעי המידע

קיימות שלוש תכניות לתואר שני במדעי המידע בהולנד [30], לצד 24 קורסים קצרים הפתוחים לציבור (בעלות של אלף אירו בערך לקורס) [31].

הולנד וסייבר

ממשלת הולנד פתחה ב-2017 בתכנית "בניית גשרים דיגיטליים" שנועדה להכין את המדינה לעידן הסייבר. במסגרת התכנית התחייבה הממשלה, בין היתר, לטפח את יכולותיהם הדיגיטליות של האזרחים, ולשתף בידע, שיטות והכשרה בתחום אבטחת הסייבר [32]. הולנד עושה זאת במספר דרכים. המדינה הצטרפה לתכניות בינלאומיות בהכשרה בתחום אבטחת סייבר, כגון Cybercrime@Octopus של המועצה האירופאית, המספקת לבלגיה קורסים לשופטים ולסוכנים אחרים של רשויות החוק בנושא סייבר-פשעה וראיות אלקטרוניות. הולנד לקחה גם חלק בשותפויות בין-מדיניות ובין-סוכניות לקידום שיתוף מידע ואימון, כגון National Cyber Forensics and Training Alliance האמריקני. הולנד חתומה על הסכם עם שכנותיה בלגיה ולוקמבורג בנוגע לשיתוף פעולה בתחום הסייבר ושיתוף במומחיות.

לצד תכניות לאומיות להדרכת שוטרים באבטחת סייבר, הולנד הקימה ב-2014 את מפקדת הסייבר ההולנדית (DCC) שמספקת הכנה, הדרכה ופריסה לצוותי אבטחת סייבר במדינה [33].

◀ נורבגיה

נורבגיה ובינה מלאכותית

לצד 24 מדינות אירופאיות אחרות, גם נורבגיה חתמה באפריל על הצהרה לשיתוף פעולה בתחום הבינה המלאכותית, שאמורה לתמוך בחדשנות האירופאית בתחום ולאפשר למדינות היבשת להתמודד בהצלחה בשוק החדש [34]. עם זאת, לנורבגיה אין תכנית לאומית משלה לתמיכה בבינה מלאכותית. היוזמות המרכזיות בתחום מגיעות מהתעשייה – כגון מעבדת הבינה המלאכותית שנפתחה ב-2017 בנורבגיה בחסות חברת המובייל טלנור, ואמורה לתמוך במחקר, חדשנות וחינוך בתחום הבינה המלאכותית [35, 36].

נורבגיה ורובוטיקה

תכנית NextGenRob הינה תכנית מחקר בת חמש שנים שהושקה ב-2009 בהובלת SINTEF – מכון מחקר נורבגי עצמאי – ובשותפות עם התעשייה ועם מועצת המחקר של נורבגיה. אחת ממטרות התכנית הייתה לפתח את כישוריהם של החוקרים בתחום הרובוטיקה ושל העובדים בתעשיות המשתתפות בתכנית. לא נראה שהתכנית הציבה מטרות שאפתניות לעתיד, מאחר ובאתר המיזם נקבע רק כי ארבעה סטודנטים לתואר דוקטור יערכו מחקר בנושאים שנקבעו על-ידי השותפים העסקיים בתכנית [37].

נורבגיה ואבטחת סייבר

בתכנית הסייבר האסטרטגית של נורבגיה מ-2017, הצהירה הממשלה כי "תתמוך בצמיחתה של הכלכלה הדיגיטלית", באמצעות – בין היתר – שיפור מערכות החינוך וההכשרה על מנת לעמוד בביקוש למומחיות בתחומי טכנולוגיות המידע [38]. עם זאת, לא מפורטות תכניות מדויקות למימוש ההצהרה.

◀ סינגפור

סינגפור, בינה מלאכותית ומדעי המידע

סינגפור הקימה את יוזמת AI Singapore בשיתוף פעולה עם אוניברסיטאות וצוותי מחקר בתחום הבינה המלאכותית. במסגרת היוזמה נפתחו גם מגזין ופורום מקוונים, בהם יכולים אנשי קהילת הבינה המלאכותית בסינגפור להתדיין זה עם זה, להחליף דעות, רעיונות ומומחיות, למצוא עובדים ועוד [39].

במסגרת AI Singapore נפתחה גם תכנית התמחות בבינה מלאכותית (AI Apprenticeship Programme) באורך של תשעה חודשים, הכוללת שלושה חודשים של קורסים בבינה מלאכותית (בכיתות בעולם הפיזי, באופן מקוון ובשילוב מיני-פרויקטים), ואחריה שישה חודשים של הכשרה תוך כדי עבודה בבעיה ממשיה הקשורה לבינה מלאכותית. המשתתפים בתכנית יקבלו מלגה הנעה בין 1,500 ל-2,500 דולרים לחודש. במהלך התכנית – שפותחה על-ידי מומחים מהתעשייה – ירכשו המשתתפים מומחיות במספר תחומים הקשורים לבינה מלאכותית, כגון –

- תכנות בפייתון ו-R
 - המדע והאמנות של ויזואליזציה מידע
 - תכנון ומימוש של ארכיטקטורות מידע גדול
 - תכנון ומימוש של מערכות בינה מלאכותית המוכנות לייצור
 - מימוש של כלים וטכניקות חדשניים בלמידת מכונה לשימושים נפוצים בתעשייה
 - איסוף מידע, סינון רעש, הנדסת תוואים
 - בחירה, אימון ועידון של אלגוריתמי למידת מכונה ולמידה עמוקה
 - תכנון, יישום וניהול של תשתית מחשבים ברמת ביצוע גבוהה לבניית סדרי עבודה הניתנים לשחזור
- המשתתפים יקבלו הנחיה מאנשי מקצוע בתחום הבינה המלאכותית והמידע הגדול. הסילבוס עצמו אמור להתעדכן לעתים תכופות, כצפוי בתחום המתפתח במהירות רבה כל-כך כבינה מלאכותית. הלמידה מבוססת בעיקר על למידה אישית ומטלות שהמשתתפים אמורים להתמודד עמן בכוחות עצמם, לצד שיחות המעמיקות ומרחיבות את הידע בתחומי הלימוד.
- משתתפים שמשלימים את התכנית בהצלחה, אמורים להיות מסוגלים למצוא עבודה כמהנדסי בינה מלאכותית, מפתחי מערכות הפעלה מבוססות בינה מלאכותית, מפתחי בינה מלאכותית ויועצים בתחום הבינה המלאכותית.
- התכנית פתוחה לאנשי מקצוע בסינגפור שסיימו את לימודיהם באוניברסיטה בשלוש השנים האחרונות ורכשו מומחיות בשפת תכנות כפייתון, R או C. המשתתפים צריכים להיות בעלי ניסיון בפיתוח מוצרי, אפליקציות או שירותי מידע, בעלי היכרות עם מחשב ענן וספקי ענן קיימים (AWS, Azure, GC וכו'), ולהכיר טכנולוגיות ביג דאטה כגון האדופ וספארק.

המחזור הראשון של התכנית נפתח במאי 2018 והמחזור הבא אמור להיפתח בינואר 2019. בסך הכל מתכננת סינגפור להכשיר 200 מומחים בשלוש השנים הקרובות, בקבוצות של 20-40 מדי מחזור [40].

תכנית אחרת היא Experiments 100, שנועדה להתמודד עם המחסור במומחים בבינה מלאכותית בתעשייה. במסגרת התכנית יכולות חברות לממן מחקרים באוניברסיטאות בסינגפור על מנת לפתור בעיות מוגדרות בבינה מלאכותית, בתמיכה של עד 250,000 דולרים מצד נותן החסות, ובתמיכה מקבילה באותו סכום המגיעה מתכנית E100. הבעיה אמורה לקבל פתרון מצד טכנולוגיות בינה מלאכותית שמוכנות ליישום בשטח, ולהגיע למוצר ראשוני תוך 9-18 חודשים. המוצר המתקבל אמור להיות סקילבילי על מנת שיוכל להיות מיושם בסינגפור ובשאר העולם.

תכנית E100 מספקת מענה לחברות שזקוקות לעובדים בתחום הבינה המלאכותית, אך אינן יכולות למצוא כאלו ברמת מומחיות מתאימה [41]. יש לשער שכתוצאה ממימון החוקרים באקדמיה, החברות יוכלו לאחר מכן גם לגייס חלק מהחוקרים שהיו מעורבים בפרויקט.

סינגפור ואבטחת-סייבר

ממשלת סינגפור הקימה את הרשות הסינגפורית לאבטחת סייבר ב-2016, שאחד מתפקידיה הוא לפתח אקו-סיסטם שוקק-חיים בתחום אבטחת הסייבר בסינגפור. ב-2017 הוחלט כי הרשות תקים מוסד אקדמי שיגביר את יכולותיהם של אנשי מקצוע בתחום אבטחת סייבר. עם זאת, לא ידועים עדיין פרטים נוספים על המוסד [42].

הרשות מציעה לאנשי מקצוע בטכנולוגיות מידע את האפשרות לעבור תכנית הכשרה באבטחת סייבר בת 6-12 חודשים. לא ברור כמה משתתפים קיימים בתכנית כיום [43]

סינגפור ולמידה לאורך החיים

משרד החינוך בסינגפור פתח את יוזמת SkillsFuture Singapore, המספקת תכניות למידה לאורך-החיים והכשרת עובדים לכל הגילאים. התכניות כוללות ייעוץ קריירה, תמיכה בחיפוש עבודה והשמה. היוזמה מספקת גם הטבות כגון SkillsFuture Credit – סיבסוד של מאות דולרים לאזרחי סינגפור מעל גיל 25 המעוניינים להשתתף בקורסים מסוימים [44]. היוזמה תומכת בשמונה קטגוריות שונות של לימוד, הכוללות אנליזת מידע, פיננסים, שירותים מבוססי-טכנולוגיה, מדיה דיגיטלית, אבטחת סייבר, יזמות, ייצור מתקדם ופתרונות עירוניים.

שוודיה

שוודיה, בינה מלאכותית ורובוטיקה

משרד הפיתוח הדיגיטלי בשוודיה השיק במאי 2018 תכנית בינה מלאכותית המכונה Data Factory & Arena. מטרת התכנית בתכנית יקחו חלק ארגונים רבים מהתעשייה, מהמגזר הציבורי, מעולם הבריאות ומהאקדמיה. מטרת התכנית הן ליצור סביבה והאב התומכים בחדשנות ובמיזמים בתחום הבינה המלאכותית, וזאת לצד הפריה הדדית של מומחים בתחום במגוון רחב של יישומים פוטנציאליים. התכנית אמורה לתמוך במחקר בבינה מלאכותית, אך היא תספק גם לתעשייה ולמגזר הציבורי גישה למומחים באקדמיה ואפשרות לקבל מהם הנחיה (ואולי גם חניכה לעובדים) במיזמים ספציפיים [45].

אוניברסיטת הלמסטאד בשבדיה פותחת בקיץ 2018 קורס בינה מלאכותית לאנשי מקצוע בתעשייה ("Data Analytics and Service Innovation based on Artificial Intelligence"), שמעוניינים לרכוש יכולות חדשות בתחום זה. העובדים מסוגלים ללמוד בתכנית תוך כדי עבודתם בחברות, ולעבור קורסים בשווי של 120 נקודות זכות אקדמיות. התכנית אינה מתמקדת בקורסים בתחום הבינה המלאכותית בלבד, אלא גם מספקת הכשרה בתכנון שירותים בראי הבינה המלאכותית. היא נתמכת על-ידי מספר חברות גדולות כוללו, RISE ואחרות [46].

מכוני המחקר של שוודיה מקימים בימים אלו מרכז לבינה מלאכותית (RISE AI) בעלות שנתית של 4.9 מיליון אירו. המרכז יינה משיתופי פעולה עם בערך שלוש שותפים מהתעשייה (נוקיה, אריקסון, H&M וחברות אחרות) ויפיק עבור החברות תובנות והנחיה לעובדים [47]. מרכז דומה יוקם באזור אורברו, במימון The Knowledge Foundation. המרכז אמור לאפשר לחברות ולחוקרים לבחון אבות-טיפוס של מוצרים תעשייתיים, ולפתח תכנית הכשרה חנימית לאנשי מקצוע בתחום הבינה המלאכותית ולמידת מכונה [48].

תכנית WASP (Wallenberg AI, Autonomous Systems and Software Program) נפתחה לראשונה ב-2015 במטרה להגיע למצינות מחקרית ולפיתוח יכולות בתחומי הבינה המלאכותית, המערכות האוטונומיות והתכנה, ובכך לתמוך בתעשייה השוודית. נכון להיום חוקרים בתכנית למעלה ממאה סטודנטים באוניברסיטאות המעורבות בתכנית. עם זאת, לאחרונה זכתה התכנית להארכה ולהשקעה נוספת של 340 מיליון דולרים עד 2026. בזמן זה יזכו 250 סטודנטים נוספים לחקור במסגרת התכנית, כאשר לפחות 75 מתוכם יגיעו מהתעשייה. הכסף יתמוך גם בבניית מתקנים, רובוטים ותשתיות מחשוב [49].

שוודיה ואבטחת-סייבר

ממשלת שוודיה שחררה תכנית אסטרטגית לאומית לאבטחת סייבר בשנת 2017, בה קבעה כי יש חשיבות רבה להכשרת עובדים בתחום אבטחת הסייבר, והתוותה מספר מטרות בנושא, כדלקמן [50] –

א. קיום השכלה גבוהה ומו"פ באיכות גבוהה בתחומי אבטחת הסייבר, אבטחת תקשורת וטכנולוגיות מידע בשוודיה. לשם כך קבעה ממשלת שוודיה כי יש לשאוף לכך שתוצאות מחקריות – כגון מידע מחקרי ופרסומים אקדמיים – המופקות במימון הציבור, יהיו פתוחות ככל האפשר. בנוסף פתחה הממשלה בתכנית שת"פ אסטרטגית לחדשנות עם התעשייה השוודית. התכנית אמורה לשפר את איכות והתועלות המופקות

מההשכלה הגבוהה ומהמו"פ בתחום. כל אלו אמורים לסייע לתעשייה ולעובדים ליהנות מפירות המחקר באבטחת הסייבר תוך זמן קצר ככל האפשר.

ב. יש להעביר אימונים באבטחת סייבר באופן סדיר. פעילויות האימון צריכות לכלול מגוון רחב של אמצעים, מסמינרים ועד לשיתופי פעולה חוצי-מגזרים. גישה משותפת לסביבת אימון וירטואלית, במיוחד, יכולה לשפר באופן משמעותי את ההזדמנויות לאימון.

◀ שווייץ

שווייץ ובינה מלאכותית

שווייץ השיקה את תכנית האסטרטגיה הדיגיטלית הפדרלית, שתספק הנחיה לרשויות, לאקדמיה, למגזר הפרטי ולעמותות בשווייץ בנוגע לדרך העבודה המשותפת שתוביל לדיגיטיזציה של החברה. על התכנית מפקחת קבוצת תיאום [51]. התכנית אמורה לתמוך בחילופי מידע בין בעלי העניין השונים – כולל, יש לשער, הנחיה של עובדים באקדמיה בתחומי הבינה המלאכותית [52]. עם זאת, לא ניתן למצוא פירוט רשמי בנושא זה.

יוזמות ציבוריות שאינן מטעם הממשלה כוללות את SwissCognitive – האב לבינה מלאכותית בו יכולים אנשי מקצוע וחובבנים לשתף במידע ובניסיון. אחת ממטרותיו המוצהרות של ההאב היא לסייע לארגונים לשלב טכנולוגיות בינה מלאכותית מתקדמות בדרכי העבודה שלהם, ולעזור ב-"יצירת העבודות של המחר". הוא מספק סביבה בה כל השחקנים הראשיים בתעשייה יכולים להיפגש על מנת להחליף ולשתף מידע בנוגע לבינה המלאכותית. ההאב מארגן סדנאות לאנשי מקצוע ומומחים בתחום הבינה המלאכותית, כולל עבודה ודיון אודות מקרי מבחן ספציפיים ומודלים עסקיים [53].

יוזמה אחרת היא SGAICO – Swiss Group for Artificial Intelligence and Cognitive Science, המביאה ביחד חוקרים, אנשי מקצוע ובעלי עניין אחרים בתחום הבינה המלאכותית, מתוך מטרה לייצר דיון בנוגע לבינה מלאכותית. אחת מהמטרות המוצהרות היא לפענח את סוג החינוך הנדרש בתחום הבינה המלאכותית בשווייץ [54].

קבוצת ICTSwitzerland מנסה להתמודד אקטיבית עם המחסור באנשי מקצוע בתחום ה-ICT (כולל בינה מלאכותית, כמובן) בשווייץ, באמצעות פיתוח תכניות הכשרה למורים, לובינג לחינוך בטכנולוגיות מידע, קביעת סטנדרטים לחינוך בתחום זה ועוד [55]. עם זאת, לא ניתן למצוא תכניות קונקרטיות.

שווייץ ורובוטיקה

שווייץ הקימה את "רובוטיקס – המרכז השווייצרי הלאומי למיומנות במחקר". המרכז מקדם מחקר משותף בתחום הרובוטיקה, ובנוסף מספק תכנית לתעשייה בה יכולות להשתתף חברות המתעניינות בטכנולוגיות רובוטיות. התכנית מקדמת חילופי מידע במסגרת כנסים, שיתופי פעולה ופרויקטי מחקר, ביקורים במעבדות ומציאת "טאלנטים" בתחום הרובוטיקה [56].

שווייץ ואבטחת-סייבר

שווייץ השיקה את תכנית האסטרטגיה הלאומית להגנה על שווייץ מאיומי-סייבר ב-2012, ועדכנה אותה לאחרונה באפריל 2018. התכנית כוללת אזכור ספציפי של הרחבת וקידום חינוך שנועד להרכיש מיומנויות סייבר, באמצעות הסתמכות על מוסדות המחקר והחינוך הקיימים. היא מדגישה את חשיבות קיומם של מומחים ומומחיות במגזר הפרטי על מנת להתמודד ביעילות עם איומי סייבר. הבסיס לפתרון הסוגיות הללו טמון, לפי תכנית האסטרטגיה, בקידום המחקר בתחום אבטחת הסייבר. מחקר שכזה חשוב לבניית מומחיות וליצירת סביבה שתמשוך את המומחים לאקדמיה ותאפשר לחברות להחליף ידע בין האקדמיה למגזר הפרטי [57].

כמו כן, שווייץ הצטרפה ליוזמת WISER האירופאית בשנת 2015, מתוך מטרה לקבוע קווי מתאר להערכת, ניטור והתמודדות עם סיכונים בתחום הסייבר בזמן אמת [58]. היוזמה מציעה בין היתר חינוך והכשרה למנהלים בתחומי אבטחת-סייבר, סדנאות מומחים בנושאים ספציפיים, ופעילויות חינוכיות כגון ה-Cyber 9/12 Student Challenge (תחרות בה סטודנטים מכל התחומים האקדמיים מתמודדים עם תרחישים שונים) [59].

- [1] Society for the Study of AI and Simulation of Behaviour, "Society for the Study of AI and Simulation of Behaviour," Society for the Study of AI and Simulation of Behaviour, 2018. [Online]. Available: <http://www.aisb.org.uk/component/content/article/83-aisb/committee/104-constitution>. [Accessed 21 6 2018].
- [2] BCS SGAI: The Specialist Group on Artificial Intelligence, "BCS SGAI: The Specialist Group on Artificial Intelligence," BCS SGAI: The Specialist Group on Artificial Intelligence, 2018. [Online]. Available: <http://www.bcs-sgai.org/>. [Accessed 21 6 2018].
- [3] J. P. Wendy Hall, "Growing The Artificial Intelligence Industry In The Uk," 2017.
- [4] M. Lasko, "Data Science Accelerator now open for applications," UK Government, 5 5 2017. [Online]. Available: <https://data.blog.gov.uk/2017/05/05/data-science-accelerator-now-open-for-applications/>. [Accessed 21 6 2018].
- [5] M. Lasko, "The Data Science Accelerator: pensions, patient journeys and predicting public order," UK Government, 11 4 2017. [Online]. Available: <https://data.blog.gov.uk/2017/04/11/the-data-science-accelerator-pensions-patient-journeys-and-predicting-public-order/>. [Accessed 21 6 2018].
- [6] UK Government, "Digital, Data and Technology Profession Capability Framework," UK Government, 23 3 2017. [Online]. Available: <https://www.gov.uk/government/collections/digital-data-and-technology-profession-capability-framework>. [Accessed 21 6 2018].
- [7] Government Statistical Service, "Learning Academy," Government Statistical Service, 2018. [Online]. Available: <https://gss.civilservice.gov.uk/gss-learning-academy/>. [Accessed 21 6 2018].
- [8] D. Duhaney, "Building capability and community through the Government Data Science Partnership," Government Digital Service, 20 7 2017. [Online]. Available: <https://gds.blog.gov.uk/2017/07/20/building-capability-and-community-through-the-government-data-science-partnership/>. [Accessed 21 6 2018].
- [9] G. Clark, Greg Clark to Professors Lane and Buckingham on RAS strategy, 2015 .
- [10] House of Commons, "Robotics and artificial intelligence: Government Response to the Committee's Fifth Report of Session 2016–17," House of Commons, 2017.
- [11] HM Government, "Industrial Strategy: Building a Britain fit for the future," HM Government, 2017.
- [12] HM Government, "National Cyber Security Strategy 2016-2021," HM Government, 2016.
- [13] J. W. Didem Tüzemen, "The Vanishing Middle: Job Polarization and Workers' Response to the Decline in Middle-Skill Jobs," Federal Reserve Bank Of Kansas City, 2012.
- [14] The Danish Government, "Strategy for Denmark's Digital Growth," The Danish Government, 2018.
- [15] Dansk Industry, "Danish companies digital front runners in Denmark," Dansk Industry, 31 1 2018. [Online]. Available: <https://di.dk/English/News/Pages/Danish-companies-digital-front-runners-in-Europe.aspx>. [Accessed 21 5 2018].
- [16] Regeringen, "Strategy for Denmark's digital growth," Regeringen, 2018.
- [17] Ministry of Economic Affairs and Employment, Finland, "Finland's Age of Artificial Intelligence," Ministry of Economic Affairs and Employment, Helsinki, 2017.
- [18] S. Yle, "Finland offers free online Artificial Intelligence course to anyone, anywhere," UUTISSET, 15 5 2018. [Online]. Available:

https://yle.fi/uutiset/osasto/news/finland_offers_free_online_artificial_intelligence_course_to_any_one_anywhere/10206283. [Accessed 16 5 2018].

- [19] Helsinki Data Analytics & Science Meetup, "Helsinki Data Analytics & Science Meetup," Meetup, 2018. [Online]. Available: <https://www.meetup.com/Helsinki-Data-Analytics-Science-Meetup/>. [Accessed 15 6 2018].
- [20] Metrics Monday, "Metrics Monday," Facebook, 2018. [Online]. Available: <https://www.facebook.com/groups/386347621451607/about/>. [Accessed 15 6 2018].
- [21] Open Knowledge Finland, "Open Knowledge Finland," Open Knowledge Finland, 2018. [Online]. Available: <https://fi.okfn.org/>. [Accessed 15 6 2018].
- [22] StudyInFinland, "Higher Education in Finland," StudyInFinland, 2017.
- [23] J. Edwards, "Finnish Robotics Aims to Be the Next Nordics Leader," Robotics Business Review, 8 2 2018. [Online]. Available: <https://www.roboticsbusinessreview.com/research/finland-aims-to-be-the-nordics-next-robotics-leader/>. [Accessed 15 6 2018].
- [24] Airo Island, "Airo Island," Airo Island, 2018. [Online]. Available: <http://airoisland.fi/>. [Accessed 15 6 2018].
- [25] BCG, "Digitizing Belgium," BCG, 2016.
- [26] B. Hamers, "Overview of the Academic Data Science programs in Belgium by Bart Hamers," diSummit, 16 3 2015. [Online]. Available: <https://datasciencebe.com/2015/03/16/overview-of-the-academic-data-science-programs-in-belgium-by-bart-hamers/>. [Accessed 16 5 2018].
- [27] Iamsterdam, "Amsterdam leading the way in artificial intelligence," Iamsterdam, 26 9 2017. [Online]. Available: <https://www.iamsterdam.com/en/business/news-and-insights/news/2017/amsterdam-leading-the-way-in-artificial-intelligence>. [Accessed 16 5 2018].
- [28] University of Amsterdam, "Innovation Center for Artificial Intelligence officially launched," University of Amsterdam, 26 4 2018. [Online]. Available: <http://www.uva.nl/en/content/news/press-releases/2018/04/innovation-center-for-artificial-intelligence-officially-launched.html>. [Accessed 16 5 2018].
- [29] UNICRI, "UNICRI Centre for Artificial Intelligence and Robotics," UNICRI, 2016. [Online]. Available: http://www.unicri.it/in_focus/on/UNICRI_Centre_Artificial_Robotics. [Accessed 16 5 2018].
- [30] StudyPortals, "Master's Degrees in Data Science & Big Data in Netherlands," StudyPortals, 2018. [Online]. Available: <https://www.mastersportal.com/study-options/268452122/data-science-big-data-netherlands.html>. [Accessed 16 5 2018].
- [31] StudyPortals, "Short Courses in Data Science & Big Data in Netherlands," StudyPortals, 2018. [Online]. Available: <https://www.shortcoursesportal.com/study-options/268452122/data-science-big-data-netherlands.html>. [Accessed 16 5 2018].
- [32] The Netherlands, "Building Digital Bridges," The Netherlands, 2017.
- [33] Potomac Institute for Policy Studies, "The Netherlands Cyber Readiness At A Glance," Potomac Institute for Policy Studies, Arlington, 2017.
- [34] European Commission, "Declaration: Cooperation on Artificial Intelligence," European Commission, Brussels, 2018.
- [35] NTNU, "NTNU," NTNU, 2018. [Online]. Available: <https://www.ntnu.edu/web/ailab/about>. [Accessed 19 6 2018].
- [36] S. Brekke, "Unlocking the power of AI for Europe," Medium, 6 3 2018. [Online]. [Accessed 19 6 2018].

- [37] SINTEF, "NEXTGENROB - Next Generation Robotics for Norwegian Industry," SINTEF, 2014. [Online]. Available: <https://www.sintef.no/en/projects/nextgenrob/>. [Accessed 19 6 2018].
- [38] Norwegian Ministry of Foreign Affairs, "International cyber strategy for Norway," Norwegian Ministry of Foreign Affairs, 2017.
- [39] AI Singapore, "Kelaberativ," AI Singapore, 2018. [Online]. Available: <https://kelaberativ.aisingapore.org/>. [Accessed 20 6 2018].
- [40] AI Singapore, "Ai Apprenticeship Programme," AI Singapore, 2018. [Online]. Available: <https://www.aisingapore.org/aiap/>. [Accessed 20 6 2018].
- [41] AI Singapore, "100 EXPERIMENTS," AI Singapore, 2018. [Online]. Available: <https://www.aisingapore.org/100e/>. [Accessed 20 6 2018].
- [42] I. Tham, "Cyber Security Agency to set up training academy," The Straits Times, 20 9 2017. [Online]. Available: <https://www.straitstimes.com/singapore/cyber-security-agency-to-set-up-training-academy>. [Accessed 20 6 2018].
- [43] CSA Singapore, "Cyber Security Associates and Technologists Programme," CSA Singapore, 7 1 2018. [Online]. Available: <https://www.csa.gov.sg/programmes/csat/>. [Accessed 20 6 2018].
- [44] Skills Future, "Skills Future," Skills Future, 2018. [Online]. Available: <http://www.skillsfuture.sg/>. [Accessed 20 6 2018].
- [45] Government Offices of Sweden, "Sweden will create a leading international environment for collaboration on AI," Government Offices of Sweden, 17 5 2018. [Online]. Available: <https://www.government.se/press-releases/sweden-will-create-a-leading-international-environment-for-collaboration-on-ai/>. [Accessed 21 6 2018].
- [46] Halmstad University, "Halmstad University starts an AI education for professionals," Halmstad University, 28 5 2018. [Online]. Available: <http://www.hh.se/english/universitynews/news/halmstaduniversitystartsanaieducationforprofessionals.65447151.html>. [Accessed 20 6 2018].
- [47] RISE AI, "Accelerating Innovation," RISE AI, 2017. [Online]. Available: <https://www.ri.se/en>. [Accessed 22 6 2018].
- [48] European Commission, "Innovation Strategy for Örebro Region – A Smart Specialisation Strategy," European Commission, 2016. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/regional-innovation-monitor/policy-document/innovation-strategy-%C3%B6rebro-region-%E2%80%93-smart-specialisation-strategy>. [Accessed 21 6 2018].
- [49] M. W. Svenselius, "Billion kronor programme for Swedish AI research," Linköping University, 15 11 2017. [Online]. Available: <https://liu.se/en/news-item/miljardsatsning-pa-svensk-ai-forskning>. [Accessed 20 6 2018].
- [50] Government Offices of Sweden, Ministry of Justice, "A national cyber security strategy," Government Offices of Sweden, Ministry of Justice, Stockholm, 2017.
- [51] Federal Office of Communications, "Coordination Group," Federal Office of Communications, 21 3 2017. [Online]. Available: <https://www.bakom.admin.ch/bakom/en/homepage/digital-switzerland-and-internet/strategie-digitale-schweiz/coordination-group.html>. [Accessed 21 6 2018].
- [52] Federal Office of Communications, "Dialogue on "Digital Switzerland"," Federal Office of Communications, 18 8 2017. [Online]. Available: <https://www.bakom.admin.ch/bakom/en/homepage/digital-switzerland-and-internet/strategie-digitale-schweiz/dialogue-on-digital-switzerland.html>. [Accessed 23 6 2018].

- [53] SwissCognitive, "SwissCognitive™ – The Global AI Hub," SwissCognitive, 2018. [Online]. Available: <https://swisscognitive.ch/services/>. [Accessed 21 6 2018].
- [54] SGAICO, "SGAICO - Swiss Group for Artificial Intelligence and Cognitive Science," SGAICO, 2018. [Online]. Available: <http://www.s-i.ch/en/fachgruppen-und-sektionen/sgaico/events/>. [Accessed 21 6 2018].
- [55] ICTSwitzerland, "ICTSwitzerland," ICTSwitzerland, 2018. [Online]. Available: <https://ictswitzerland.ch/en/themen/bildung/>. [Accessed 21 6 2018].
- [56] Robotics, "Industry Liaison Programme," Robotics, 2018. [Online]. Available: <https://www.nccr-robotics.ch/industry/industry-liaison-programme/>. [Accessed 21 6 2018].
- [57] National strategy for the protection of Switzerland against cyber risks 2018-2022, "National strategy for the protection of Switzerland against cyber risks (NCS) 2018-2022," The Federal Council, 2018.
- [58] WISER, "National Cybersecurity Strategy - Nis Capacities," WISER, 2018. [Online]. Available: <http://www.cyberwiser.eu/switzerland-ch>. [Accessed 21 6 2018].
- [59] GCSP, "Securing cyber space is increasingly on the global security agenda.," GCSP, 2018. [Online]. Available: <https://www.gcsp.ch/Topics-Initiatives/Emerging-Security-Challenges-Programme/Cybersecurity>. [Accessed 21 6 2018].
- [60] M. Zhang, "China Puts Education Focus on AI; Plans 50 AI Research Centres By 2020," Synced, 10 4 2018. [Online]. Available: <https://medium.com/syncedreview/china-puts-education-focus-on-ai-plans-50-ai-research-centres-by-2020-5589c35ba701>. [Accessed 21 6 2018].
- [61] D. Cyranoski, "China enters the battle for AI talent," Nature, vol. 553, pp. 260 - 261, 2018 .
- [62] A. B. Yujia He, "How China is preparing for an AI-powered Future," Wilson Center, Washington, DC, 2017.
- [63] C. Gao, "China Plans to Build 'World-Famous' Cybersecurity Schools in 10 Years," The Diplomat, 17 4 2017. [Online]. Available: <https://thediplomat.com/2017/08/china-plans-to-build-world-famous-cyber-security-schools-in-ten-years/>. [Accessed 21 6 2018].
- [64] National Science Foundation, "National Robotics Initiative 2.0: Ubiquitous Collaborative Robots (NRI-2.0)," National Science Foundation, 2018. [Online]. Available: <https://www.nsf.gov/pubs/2018/nsf18518/nsf18518.pdf>. [Accessed 21 6 2018].

נספח 4: מיפוי סקטורי הממשלה, האקדמיה, מערכת הביטחון והתעשייה בתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה בישראל

◀ יוזמות ממשלתיות

נכון להיום אין גוף ממשלתי המרכז ומתכלל את נושאי בינה המלאכותית, מדעי נתונים ורובוטיקה חכמה. היוזמות המוזכרות לעיל מנוהלות במשרדי הממשלה השונים.

נכון למועד הגשת דו"ח זה (אוגוסט 2018) עוסקים פרופ' יצחק בין ישראל ואביתר מתניה ביחד עם ד"ר עמי אפלבו, המדען הראשי ויו"ר הרשות לחדשנות, ראש מפא"ת ראש הות"ת (הוועדה לתכנון ותקצוב של המועצה להשכלה גבוהה) ופרופ' דני הרשקוביץ, יושב ראש המולמו"פ (המועצה הלאומית למו"פ) בהקמת ועדה ממשלתית שמטרתה לגבש תכנית שתזניק את ישראל לצמרת ה-AI העולמית (ברקוביץ & שחף, 2018)⁵⁹

» משרד ראש הממשלה

המוסד למודיעין ולתפקידים מיוחדים הקים ב-2017 את קרן ליברטאד - הקרן לחדשנות טכנולוגית. הקרן מתמקדת במחקר ופיתוח טכנולוגי של חברות פורצות דרך. מטרתה – חיזוק הידע הטכנולוגי הקיים במוסד, ע"י קישור לחברות הזנק הפועלות בחזית החדשנות הטכנולוגית. הקרן מחפשת יזמים וחברות הזנק מבטיחות, המבקשים לממש טכנולוגיות בתכניות מו"פ בשלבים התחלתיים. הקרן תתמוך בהם במטרה ליצור תועלות הדדיות באמצעות שיתוף פעולה והחלפת ידע. השקעה ללא נטילת הון (Equity Free) עד 2,000,000 ₪ (במקרים יוצאי דופן תתכן השקעה גדולה יותר), בתכניות למחקר ופיתוח של טכנולוגיות חדשניות, פורצות דרך ושימויות, אשר תשרתנה את צרכי המוסד. בין השאר, הקרן מתמקדת בטכנולוגיות חדישות במגוון שיטות אוטומטיות לתמצות מסמכים, קיטלוג מסמכים, חילוץ ישויות וקשרים סמנטיים, באמצעות שיטות מתחומי הסטטיסטיקה, למידת מכונה (Machine Learning) ו/או תחומים אחרים, בעברית ובשפות נוספות. טכנולוגיות מבוקשות נוספות הן בתחום זיהוי אוטומטי של מאפיינים אישיותיים (personality profiling) על בסיס דפוסי פעולה והתנהגות ברשת, באמצעות שיטות מתחומי הסטטיסטיקה, למידת מכונה (Machine Learning) ו/או תחומים אחרים.

מערך הסייבר הלאומי במשרד רה"מ ורשות החדשנות הוציאו באוגוסט 2018 קול קורא להגשת בקשות סיוע לפיתוח טכנולוגיות פורצות דרך בתחום טכנולוגיות הגנה בסייבר המיועד לחברות טכנולוגיות ישראליות. הקול הקורא הוא לטכנולוגיות המהוות חזית האתגר בתחום הגנת הסייבר – חברות הבאות לענות על אתגרי אבטחת המידע עצמם או שמאתגרות באופן מהותי מוסכמות והישגים קיימים בתחום אבטחת המידע. כגון:

- התמודדות מול ADVARSEY AI, תקיפה והגנה על חומרה, התמודדות מול עולם קוונטי ופוסט-קוונטי, מדידה והערכה של רמת הגנה ארגונית, אוטומציה של תהליכי הגנה ואיתור אירועים, פגיעה בתהליכי פרטיות והצפנה קיימים.
 - טכנולוגיות איסוף, מודיעין סייבר בכל שרשרת האירועים, יכולת זיהוי ואיתור, יכולת טיפול בתקיפות, יכולת הגנה ברמת המחשב והרשת, יכולת שמירת פרטיות, שיטוי, טכנולוגיות לניהול והתמודדות עם אירועי סייבר.
- תחת ה"Garage" בשב"כ מתנהלת פעילות של שיתוף פעולה עם גופים ומרכזי פיתוח שונים מתוך מטרה לייבא חדשנות אך גם לאפשר פיתוח מובילי חדשנות בחטיבות השונות בארגון, ומתוך כוונה להשפיע על ה-DNA

⁵⁹ ברקוביץ, א., & שחף, ט. (August, 2018). נהפוך את ישראל לאחת ממדינות הבינה המלאכותית המובילות. גלובס. Retrieved from <https://www.globes.co.il/news/article.aspx?did=1001249550>

הארגוני. במסגרת זו נעשית בשב"כ פעילות לעידוד הנבטות פנימיות תוך מתן מימון וחיבורים מתאימים בתוך הארגון, כאשר חצי מהצוותים יובלו ע"י מובילי החדשנות.

- הפעילות פועלת בשיתוף וועדה מייעצת של בכירים במשק בעולמות החדשנות והטכנולוגיה שמבצעים את עבודתם בהתנדבות.
- בין היתר הוקמה ע"י השב"כ קרן בשיתוף עם מאיץ הטכנולוגיות באוני' ת"א להשקעות בחברות בתחומי ה BI, NLP, רובוטיקה ו DS. מחזור ראשון יצא לדרך עם כשמונים מועמדים, מתוכם נבחרו בסופו של תהליך שישה שזכו כ"א למענק של \$50K ללא תנאים, ולליווי מומחה מטעם הארגון בהיקף של יום אחד בשבוע. הרעיון מאחורי צורת ההשקעה הזו, הינו לזכות לחשיפה למה שקורה בקצוות הטכנולוגיים בחוץ, בשוק האזרחי.
- פעילות נוספת שנעשית ע"י הגאראז' הינה שת"פ עם הרשות לחדשנות. במסגרת זו יצא קול קורא לתוכנית שתענה על אתגרים שרוממים.

» מל"ג

- במסגרת תכנית "מרכזי מצוינות" הוקם בשנת 2011 מרכז מצוינות בחקר אלגוריתמים. "מרכז מצוינות" הנו התאגדות של חוקרים מעולים בתחום מחקרי מוגדר, שבאים מקרב אנשי הסגל והחוקרים במוסדות להשכלה גבוהה ובמוסדות מחקר, לשם קידום מחקר מעמיק, פורץ דרך וחדשני בתחום זה. המרכז משמש עוגן לתשתיות מחקר בתחומי לשימוש כלל הקהילה האקדמית בארץ ומאפשר ניצול מיטבי של הפוטנציאל המדעי של מדינת ישראל. מרכז מצוינות בחקר אלגוריתמים - I-CORE ALGO, עוסק בחקר אלגוריתמים בהשתתפות חוקרים מאוניברסיטת תל-אביב, ממכון ויצמן למדע, ומהאוניברסיטה העברית בירושלים.
- תכנית של מל"ג תאפשר לחשוף את עולם היזמות והייטק לסטודנטים מתחומי לימוד אחרים. **התכנית תאפשר לחשוף את תחום הנדסת הנתונים והמידע (Data Sciences)** ועולם היזמות לכלל הסטודנטים במוסדות האקדמיים שישתתפו בתכנית, באמצעות אשכולות לימוד של קורסי העשרה בהיקף של 6-10 נ"ז. אשכולות אלו יהיו נגישים לכל הסטודנטים ללא קשר לתחום הלימוד העיקרי. בהתאם לקול הקורא שהופץ למוסדות האקדמיים, ות"ת תקצה כ-10 מיליון שקלים עבור פיתוח קורסים אקדמיים חדשים במגוון נושאים. קורסים אלו יותאמו במיוחד עבור סטודנטים מדיסציפלינות שונות, ויכללו מושגי יסוד ותכנים בסיסיים אשר יאפשרו לסטודנט צוהר לתחומי ידע נוספים (לדוגמא סטודנטים מתחום מדעי החברה יבחרו קורסים מתחומי מדעי הטבע). בין נושאי ההעשרה: תחום הנדסת הנתונים והמידע (Data Science) – תחום חקר חדש בישראל ובעולם, אשר מקנה כלים ומיומנויות לניתוח ומיצוי נתונים על מנת להפיק ידע חדש, בין היתר במטרה לתמוך בתהליכי קבלת החלטות. ניתוח מתוחכם של מסדי נתונים רחבים ומגוונים (big data) יכול לסייע בהפקת תובנות חדשות בתחומים מגוונים, בעלי פוטנציאל יישומי גבוה.
- המל"ג תקצה 25 מיליון שקל לחמש שנים להקמת מרכז לאומי לקידום מחקר בנושא תחבורה חכמה. האוניברסיטה שתיבחר להפעיל את מרכז המחקר תרכז פעילות ארצית, ולא תתבסס רק על חוקרים שלה. מטרת המל"ג היא לגבש קהילה אקדמית של חוקרים, בארץ ובעולם, שפועלים בתחום הזה ושיהיו בקשר עם חברות קיימות ויזמים. החיבור עם התעשייה יאפשר ליזום מחקרים על בסיס צרכים שעולים מהשטח, ולחילופין לפתח מוצרים ופתרונות מסחריים על בסיס הידע שנצבר במרכז המחקר.

» רשות התקשוב הממשלתית

ייעודה של רשות התקשוב הממשלתית, כפי שנקבע בהחלטת הממשלה 2099 מיום 10.10.2014, הוא לשמש מרכז ידע ויועץ מקצועי בתחום התקשוב לממשלה, לפעול ליעול מערך התקשוב ולקידום חדשנות טכנולוגית במשרדי הממשלה ויחידותיהם, להעמיד טכנולוגיות מתקדמות לשיפור השירות הממשלתי לציבור ולהפחתת הנטל הביורוקרטי ולפעול לקידום מדיניות של ממשל פתוח.

ערכים רוחביים-ארגוניים, שיקודמו על-ידי הרשות:

ממשל פתוח (Open Government) - הרשות תפעל, בהתאם למחויבותה לשותפות הבינלאומית לממשל פתוח, להגביר את השקיפות השלטונית ושיתוף הציבור, לחזק את הבקרה הציבורית על ביצועי הממשלה ולהגביר את אחריות נבחרי הציבור וגופי הממשל כלפי אזרחי המדינה. הרשות תפעל להגברת השימוש בפלטפורמות טכנולוגיות לקידום עקרונות אלו ולהנגשת המידע הממשלתי ומאגרי המידע הממשלתיים.

חדשנות (Innovation) - הרשות תפעל לביצוע שינויים ושיפורים בעלי ערך לאזרח וליחידות הממשלה ולרתימת יחידות הממשלה לפיתוח שירותים דיגיטליים מתקדמים לאזרחים. הרשות תפעל להכשיר את עובדיה ואת העובדים באגפי מערכות המידע ביחידות הממשלה לאימוץ חשיבה חדשנית וליישומה.

בין יעדי הליבה של רשות התקשוב גם "המידע כנכס" (Information as an Asset). הרשות תפעל לניהול המידע הממשלתי כנכס, במטרה להפוך את המידע הממשלתי למקור אמין, עדכני וזמין לתחקור, לניתוח ולתמיכה בתהליכי קבלת החלטות מבוססות נתונים (Data Driven Decision Making). הרשות תקיים מיפוי עדכני של המאגרים הממשלתיים העיקריים (Meta Data). הרשות תקדם שיתוף מידע בין יחידות הממשלה השונות תוך התבססות על פלטפורמה טכנולוגית נוחה, התומכת בהעברת המידע בין יחידות בלא צורך בשכפול מאגרי מידע. תשתית העברת המידע בין המשרדים תהווה בסיס לפיתוח שירותים דיגיטליים אינטגרטיביים ולמסירת מידע אישי ליחידות הממשלה פעם אחת בלבד (Ask it Only Once) (רשות התקשוב הממשלתי, 2016)⁶⁰.

» ישראל דיגיטלית

ישראל דיגיטלית הוא מיזם ממשלתי השואף לרתום ולמנף את ההזדמנות הטמונה במהפכה הדיגיטלית ובהתקדמות טכנולוגיות המידע והתקשורת לטובת צמיחה כלכלית מואצת, צמצום פערים והפיכת הממשל לחכם, מהיר, ידידותי לאזרחים ומוביל עולמי בתחום הדיגיטלי.

מטה המיזם משתייך למשרד לשוויון חברתי ופועל בשיתוף פעולה עם משרדי הממשלה, רשויות מקומיות, חברות עסקיות וארגוני מגזר שלישי.

בין הנושאים בהם עוסק המיזם:

בריאות דיגיטלית, בשיתוף משרד הבריאות⁶¹. פרויקטים לדוגמא:

- קהילת בריאות BeWell.il: הקמה והפעלה של קהילת בריאות בכדי לייצר Eco System בין מרכיבי הקהילה השונים - יזמים, משקיעים, לקוחות ואקדמיה.
- פרויקט "סביבות מחקר" (ביג דאטה): בניית פלטפורמה לאומית למחקרים עתירי מידע במערכת הבריאות.
- פרויקט "התממה": בניית מנוע לאומי להתממת מידע (Data De-Identification) לשימושים מחקרניים.
- פרויקט "איתן": פלטפורמה לאומית מאובטחת לשיתוף וניהול מידע רפואי בין קופות חולים ובתי חולים.
- פרויקט "קליניקל": תיעוד מידע רפואי ואדמיניסטרטיבי של מטופלים וחיבור מאות מרפאות ומכונים רפואיים לרשת שיתוף מידע רפואית.

חינוך והשכלה דיגיטליים בשיתוף משרד החינוך⁶². פרויקטים לדוגמא:

- תכנות ורובוטיקה בתכנית הלימודים
- תכנית תקשוב חטיבה עליונה: מתן "חבילות תמיכה" לקידום החינוך הדיגיטלי ל-120 בתי ספר תיכוניים.

⁶⁰ רשות התקשוב הממשלתי. (2016). רשות התקשוב הממשלתי- אסטרטגיה 2016-2018. Retrieved from <https://www.gov.il/exfiles/index.html?article=0>

⁶¹ <https://www.gov.il/he/Departments/Topics/digitalhealth>

⁶² <https://www.gov.il/he/Departments/Topics/edu>

- עיר דיגיטלית בחינוך: העיר באר-שבע נבחרה בהחלטת ממשלה (2025) כעיר דיגיטלית ראשונה. במסגרת ההחלטה מקדמת עיריית באר-שבע, בשיתוף משרד החינוך ובתיאום עם מטה ישראל דיגיטלית, תכנית שמהווה פיילוט ארצי להתאמת מערכת החינוך לעידן הדיגיטלי.
- קמפוס - המיזם הלאומי ללמידה דיגיטלית: פלטפורמה דיגיטלית פתוחה המציעה קורסים במנעד רחב של נושאים, תכנים ממוסדות אקדמיים מובילים בארץ ובעולם ומסלולי הסמכה במגזר הציבורי.
- כלכלה דיגיטלית בשיתוף משרד הכלכלה⁶³. פרויקטים לדוגמא:
 - תכנית לעידוד מסחר דיגיטלי בעסקים קטנים ובינוניים: חבילת סיוע לבעלי עסקים קטנים ובינוניים להקמת מערך שיווק דיגיטלי לעסק.
 - רווחה דיגיטלית בשיתוף משרד הרווחה והשירותים החברתיים⁶⁴. פרויקטים לדוגמא:
 - פיילוט קהילות שיקום דיגיטליות: שימוש בכלים דיגיטליים וטכנולוגיות מסייעות המאפשרות לחזק את הקשר בין מטפלים למטופלים בעלי מוגבלויות, ולהתגבר על מגבלות זמן ומשאבים של מערכת הרווחה.
- ממשל חכם⁶⁵. פרויקטים לדוגמא:
 - מנוע זכויות לאומי: פיתוח מנוע זכויות לטובת הנגשה דיגיטלית של מידע אינטגרטיבי (מכלל המשרדים ויחידות הסמך המספקים זכויות) ומותאם אישית.

» משרד המדע והטכנולוגיה

קול קורא להגשת קדם-הצעות מחקר לשנת 2018, בתחומי ההנדסה: רובוטיקה; מכשור רפואי; מגה נתונים

משרד המדע והטכנולוגיה זיהה את החסר במקורות למענקי מחקר במדע יישומי ומחקר הנדסי במערכת האקדמית בישראל. לפיכך, החליט המשרד על הקמת תכנית מענקי מחקר לעידוד ולחיזוק המחקר המדעי היישומי והמחקר ההנדסי, במטרה ליצור מסה קריטית של ידע וכוח אדם בתחום והוציא קול קורא להגשת קדם-הצעות מחקר לשנת 2018, בתחומי ההנדסה: רובוטיקה; מכשור רפואי; מגה נתונים. חיזוק המחקר בתחומים אלה יתרום ישירות לחיזוק המחקר האקדמי היישומי וההנדסי באוניברסיטאות, במכללות ובמכוני המחקר, ובכך יביא לחיזוקה של האקדמיה, התעשייה, מערכת הביטחון הישראלית וכלכלת ישראל בתחומים אלה.

פירוט של הקול הקורא לקבלת קדם-הצעות מחקר למחקרים יישומיים ו/או הנדסיים חדשניים בתחומי ההנדסה הבאים:

רובוטיקה - Robotics - מחקר בינתחומי הנוגע לבניית רובוטים - מכשירים היכולים לנוע ולהגיב לפי מידע מחיישנים. נכלל בזאת מחקר ופיתוח בהנדסת אלקטרוניקה, מדעי המחשב, תכנות ובפרט הנדסת תוכנה, מכונות וייצור.

מכשור רפואי - Medical Devices - מוצרים טכנולוגיים המשמשים צרכים רפואיים, מניעתיים, אבחוניים או טיפוליים, כגון מכשירי דימות רפואי, מכשירי רנטגן, אולטרסאונד, הרדמה, אנדוסקופיה, מערכות ממוחשבות שונות.

מגה נתונים - Big Data - האתגר בניהול נתוני עתק (Big Data) הפך תחום זה לעניין מרכזי בטכנולוגיית מידע, כאשר מסדי הנתונים היחסיים הקיימים אינם בנויים לאחסון ולניתוח מידע רב והטרוגני. דוגמאות ליישומים: רפואה, ביולוגיה, פיזיקה, לוחמת סייבר ותעשייה.

⁶³ <https://www.gov.il/he/Departments/Topics/digitaleconomy>

⁶⁴ <https://www.gov.il/he/Departments/Topics/digitalwelfare>

⁶⁵ <https://www.gov.il/he/Departments/Topics/digitalgov>

הקרן הלאומית למחקר מדעי יישומי והנדסי (מי"ה) קול קורא להגשת קדם-הצעות מחקר לשנת 2019 בתחומי ההנדסה: בינה מלאכותית; ננו-אלקטרוניקה והנדסה גרעינית

המשרד פרסם קול קורא לקבלת קדם-הצעות מחקר למחקרים יישומיים ו/או הנדסיים חדשניים בתחומים הבאים: בינה מלאכותית - בינה מלאכותית עוסקת ביצירת כלים בעלות תבונה העושות משימות שבני אדם מבצעים באופן אוטומטי, כגון: עיבוד תמונה, עיבוד שפה, וייצור מתקדם ע"י רובוטיקה חכמה.

קול קורא הקרן הלאומית למחקר מדעי יישומי והנדסי (מי"ה) קול קורא למלגות בתחום: המדע היישומי וההנדסי לתלמידי המסלול הישיר לתואר שלישי ע"ש זאב ז'בוטינסקי לשנת 2018⁶⁶

משרד המדע והטכנולוגיה מעניק מלגות המיועדות לסטודנטים אשר תכנית המחקר שלהם מתבצעת במוסדות להשכלה גבוהה. מטרת התכנית היא עידוד וחיזוק המחקר ההנדסי והיישומי בתחומים אותם הגדיר המשרד כבעלי עדיפות וזאת במטרה ליצור הגדלה משמעותית של הידע וכוח האדם בתחום.

השנה, בפעם הראשונה, מיועדות המלגות לסיוע לסטודנטים הלומדים במסלול ישיר לדוקטורט. מטרת התכנית היא להעניק מלגות לסטודנטים הנמצאים בשנתם האחרונה ללימודי התואר הראשון, או לסטודנטים הנמצאים בשנתם הראשונה ללימודי התואר השני, ואשר מתעתדים להתקבל למסלול ישיר לדוקטורט, בתחומי ההנדסה והמדעים המדויקים, במוסדות המוכרים להשכלה גבוהה בישראל, בשנת הלימודים תשע"ט.

קול קורא להגשת הצעות מחקר לשנת 2017 בתחום ביומטריה והזדהות בטוחה.

במסגרת התכנית להגדלת מספר המדענים בתחום הביומטריה, יזמו משרד המדע והטכנולוגיה והממונה על היישומים הביומטריים במערך הסייבר הלאומי במשרד ראש הממשלה קרן מחקרים לטובת קידום פעילות מחקר ופיתוח בישראל והוציאו קול קורא להגשת הצעות מחקר לשנת 2017 בתחום ביומטריה והזדהות בטוחה.

נושאי המחקר במסגרת קול קורא זה כוללים בין השאר: יישומי ביומטריה ויישומי הזדהות בטכנולוגיות blockchain, גישות חדשניות להשוואות ביומטריות בעידן ה-Big Data, השפעות שינויים פיזיולוגיים, טבעיים ומלאכותיים על אמינות האימות והזיהוי הביומטרי, בדיקות חיות של דגימות ביומטריות ויכולת זיהוי מעתקים, שיטות ואמצעים להגנה על נתונים רגישים ו/או ביומטריים במחשבי קצה, שיטות ואמצעים לזיהוי שינויים ו/או לסיון ואימות נתונים רגישים ו/או ביומטריים מיחידות קצה.

קול קורא משותף ישראל – הודו Indian-Israeli Joint Research Cooperation 2017-2019

משרד המדע יחד עם המשרד המקביל בהודו הוציא קול קורא משותף בנושא:

1. Big Data Analytics in Healthcare: Public health, Evidence-based medicine, Genomic analytics, Device/Remote monitoring, Patient profile analytics, Web and social media data, Machine to machine data, Big transaction data, Biometric data, Human-generated data, Medical imaging data, Genetic data
2. Security in Cyber Space

קול קורא למלגות בתחום: המדע היישומי וההנדסי לתלמידות המסלול הישיר לתואר שלישי ע"ש שולמית אלוני לשנת 2018⁶⁷

משרד המדע והטכנולוגיה מעניק מלגות המיועדות לסטודנטים אשר תכנית המחקר שלהם מתבצעת במוסדות להשכלה גבוהה. מטרת התכנית היא עידוד וחיזוק המחקר ההנדסי והיישומי בתחומים אותם הגדיר המשרד כבעלי עדיפות וזאת במטרה ליצור הגדלה משמעותית של הידע וכוח האדם בתחום.

משרד המדע והטכנולוגיה ממשיך גם בשנה זו את תכנית המלגות המיועדות לתלמידות הלומדות לתואר שלישי במוסדות להשכלה גבוהה בישראל, אולם במתכונת שונה. מטרת התכנית היא להגדיל את מספר הנשים העוסקות

⁶⁶ מסלול ישיר לתואר שלישי, מלגות ז'בוטינסקי

⁶⁷ מסלול ישיר לתואר שלישי, מלגות אלוני

בתחומי המדע והטכנולוגיה, בתחום המדעים המדויקים ובהנדסה; תחומים בהם ייצוג הנשים נמוך או אינו מתקצב דיו.

השנה, בפעם הראשונה, מיועדות המלגות לסיוע לסטודנטיות הלומדות במסלול ישיר לדוקטורט. מטרת התכנית היא להעניק מלגות לסטודנטיות הנמצאות בשנתן האחרונה ללימודי התואר הראשון, או לסטודנטיות הנמצאות בשנתן הראשונה ללימודי התואר השני, ואשר מתעתדות להתקבל למסלול ישיר לדוקטורט, בתחומי ההנדסה והמדעים המדויקים, במוסדות המוכרים להשכלה גבוהה בישראל, בשנת הלימודים תשע"ט.

מרכז לבינה מלאכותית

בשנת 2012 החליט משרד המדע והטכנולוגיה להשקיע 120 מיליון ₪ לשלוש שנים בארבעה תחומי מחקר שקבע בתחומים בעדיפות לאומית: מדעי המוח, מחשוב-על וסייבר, מדעי הים ותחליפי נפט לתחבורה.

מרכז לבינה מלאכותית - The Center of Knowledge in Machine Learning and Artificial Intelligence at the Hebrew University of Jerusalem, הוקם באוניברסיטה העברית בירושלים, בהיקף תקציבי של 4.5 מלש"ח. חלקו של המשרד 3 מלש"ח. המרכז פעל בתקציב משרד המדע בין השנים 2012-2015. כיום הוא פועל ללא מימון ממשרד המדע.

המרכז מהווה אחד ממוקדי הידע החזקים ביותר בארץ ובעולם בתחום מדעי המחשב. פעילויות המחקר המגוונות של חברי מרכז זה משתרעות על פני כל תחומי הליבה המדעיים, החל במדעי המוח החישוביים ובילוגיה חישובית, ועד לעיבוד אותות, ראיית מחשב, עיבוד תמונה, עיבוד שפה טבעית, כריית טקסט, כלכלת אינטרנט, מערכות רב-סוכניות, ניהול רשתות חכמות, אבטחת סייבר ועוד.

» משרד הכלכלה

תכנית אסטרטגית לאומית לייצור מתקדם בתעשייה⁶⁸

התפתחויות בטכנולוגיות הייצור בשנים האחרונות, המכונות "טכנולוגיות ייצור מתקדם" ומקושרות לעולם תוכן המכונה "המהפכה התעשייתית הרביעית" – Industry 0.4 – מובילות לתמורות משמעותיות באיזון בין תחרות המבוססת על עלויות כוח אדם ובין תחרות המבוססת על יצירת ערך, יעילות ויתרון טכנולוגי. אימוץ מוצלח של טכנולוגיות חדשניות אלו צפוי להוביל להעלאת הפריון לעובד ולשיפור כושר התחרות של החברות התעשייתיות, הצפויים להתבטא גם בשיפור ברווחיות וברמות השכר ואף להביא לניוד מחודש בשרשרת הערך ולצמיחה מחודשת של התעשייה. **נוסף לכך, לישראל יש הזדמנות למצב את עצמה כמרכז לחברות טכנולוגיה ולסטארט-אפים המספקים פתרונות ייצור מתקדמים במגוון תחומים ובכללם נתוני עתק (data Big), למידת מכונה (learning Machine), הגנת סייבר וייצור בהוספה.**

שלוש מתוך חמש הטכנולוגיות המצוינות ככאלו שיביאו תועלת רבה לתעשייה הישראלית מוטת הייצור רלוונטיות לתחומי אינטליגנציה מלאכותית, מדעי המידע ורובוטיקה חכמה: **רובוטיקה מתקדמת, Industrial IOT ו- Analytics/Data Big** (שתי טכנולוגיות נוספות הן הדפסת תלת-ממד וחומרים מתקדמים).

כיווני הפעולה האסטרטגיים במסגרת התכנית הם:

1. ביסוס תשתיות והנגשת ידע התומכים בהטמעת ייצור מתקדם.
2. ייעוץ וליווי לתהליכי הטמעה טכנולוגית ברמת המפעל.
3. השקעות ומימון לצורך הטמעת טכנולוגיות במפעלים.
4. קידום ופיתוח הון אנושי מימון לתעשייה המייצרת.

⁶⁸ https://www.idi.org.il/media/10721/hurvitz2018_michal-fink.pdf

5. מיצוב מחדש של תדמיתה של התעשייה היצרנית כמנוע צמיחה למשק.

בין הצעדים מיושמים או בתהליך יישום לקידום ייצור מתקדם בתעשייה הישראלית אפשר למצוא את:

מסלול לייצור מתקדם:

מטרה: עידוד הטמעת ידע וטכנולוגיות חדשניות לייצור מתקדם בתעשייה. המסלול מיועד למי שאינו זכאי לסיוע לפי החוק לעידוד השקעות הון.

עקרונות: מסלול זה מיועד לחברות קטנות ובינוניות במטרה לבצע שדרוג ודיגיטציה של קו ייצור קיים ו/או הקמת קו ייצור חדש ע"י הכנסת טכנולוגיות מתקדמות, הטמעת רובוטים, בקרה והתייעלות באמצעות חיישנים, תוכנות לניהול הייצור, הטמעת טכנולוגיה של חברות הזנק ישראליות בתעשיית ייצור מתקדם בדגש על חדשנות. מסלול זה מיועד לחברות כמצוין לעיל בכל רחבי הארץ.

תקציב: תקציב – שנת 2018 – 52 מיליון ₪. בשנים 2019 – 2021 : 40 מיליון ₪ כל שנה.

הקמת המכון לייצור מתקדם:

משרד הכלכלה והתעשייה פועל להקמת מכון לייצור מתקדם. המכון יפעל למתן שירותי תמיכה וייעוץ טכנולוגי לתעשייה, בדגש על תעשייה מסורתית ברמת חדשנות נמוכה, לצורך קידום הטמעת טכנולוגיות ייצור מתקדם, ויתמוך בהעלאת הפריור ורמת התחרותיות של תעשייה זו. למכון הוקצו 35 מל"ח לתקופה ראשונה של 4 שנים.

פעילויות חינוכיות לחשיפת הנוער לתעשייה מתקדמת:

מטה כחול לבן במשרד מעמיק את הפעילות החינוכית במטרה לחשוף את תלמידי חטיבת הביניים והתיכון לאפשרויות הגלומות בתעשייה מוטת הייצור. הפעילות מתקצבת בכ-5.1 מל"ח לשנה, ומתוכננת להתחיל בהיקף מלא בשנת הלימודים תשע"ט ולכלול קורסי יזמות בתעשייה, מפגשים וסיורים בתעשייה ועוד.

הקמת מכון לאומי לייצור מתקדם

משרד הכלכלה והתעשייה, באמצעות מינהל תעשיות, מפרסם מכרז להקמת המכון הלאומי לייצור מתקדם, בהיקף של 35 מיליון ₪ לארבע שנים.

המכון הלאומי לייצור מתקדם הוא כלי נוסף במסגרת תוכנית משרד הכלכלה להעלאת הפריור נועדה לשיפור כושר התחרות של התעשייה הישראלית, להעלאת הרווחיות ורמת השכר של העובדים ולצמיחה מחודשת של התעשייה, הגדלת הייצור ושיפור החוסן של הכלכלה בישראל.

המכון יוקם במודל דומה לזה של מכונים מקבילים בעולם, ומטרתו לפעול להעלאת הפריור והתחרותיות בתעשייה מוטת הייצור, באמצעות קידום והטמעת טכנולוגיות ושיטות ייצור מתקדמות, בדגש על תעשיות המאופיינת ברמת חדשנות נמוכה-בינונית.

טכנולוגיות ייצור מתקדם כוללת שילוב מערכות מידע (ביג דאטה), רובוטיקה מתקדמת, הדפסת תלת מימד ושימוש בחומרים מתקדמים. התעשייה הישראלית חייבת להשקיע שיטות ייצור אלו באופן מהיר ויעיל על מנת לעמוד בתחרות הגלובאלית הגוברת, ומטרת המכון הוא לאפשר לתעשייה לייצר את השינוי בטווח זמן קצר יותר ובאופן יעיל יותר.

» רשות החדשנות

שת"פ ישראל - יפן

ב-2017 נחתמה בין שר הכלכלה של ישראל למקבילו היפני, [הצהרה משותפת הקוראת](#) להגברת שיתוף הפעולה בין גופי ממשל ישראלים, ארגונים כלכליים וחברות ישראליות ויפניות במגוון תחומים והקמת גוף שיאגד את כל הארגונים הכלכליים הרלוונטיים בישראל וביפן וישדרג את הפעילות הכלכלית המשותפת בעיקר בתחומי התעשייה המתקדמת: בינה מלאכותית, רובוטיקה IOT, Autonomous Driving, ועוד.

שת"פ ישראל – בריטניה

ביוני 2018, נחתם הסכם לחיזוק שיתוף הפעולה בתחום המחקר והפיתוח, בין משרד הכלכלה והתעשייה לבין משרד המדע, המחקר והחדשנות הבריטי. ההסכם יקדם את שיתוף הפעולה בתחומים הבאים: בינה מלאכותית ומידע, אוכלוסייה מזדקנת, סייבר, מדעי החיים ועוד.

תכניות מחקר ופיתוח גנרי טרום תחרותי (מגנ"ט)

תכניות מחקר ופיתוח גנרי טרום תחרותי (מגנ"ט) פועלות במסגרת רשות החדשנות במטרה לחזק את היתרון התחרותי הטכנולוגי ארוך הטווח של התעשייה בישראל על ידי תמיכה בפיתוח תשתיות טכנולוגיות גנריות שימשו פלטפורמה לפיתוח מוצרים עתידיים.

בשנים אחרונות עוסקים מספר מאגדים במסגרת המגנ"ט בנושאים הנוגעים לבינה מלאכותית, למידת מכונה ולמידה עמוקה וכו'. בין השאר מאגד InfoMedia, BSMT, Metro450, ISG ואיגוד משתמשים Israel Brain Technologies, עוסקים בין השאר באוטומציה, ניטור חכם, למידה עמוקה, רשתות נוירונים (neural networks) וכו'.

ב- 2017 נערכו מפגשי התנעה של מאגדים חדשים, מתוכם ייבחרו מאגדים שיקבלו מימון במהלך 2018. בין שמות המועמדים, לפחות חמישה עוסקים בטכנולוגיות הנוגעות לטכנולוגיות בינה מלאכותית, מדעי המידע ורובוטיקה חכמה:

» loX רכיב ASIC גנרי להתקני IOT בדור החמישי

פיתוח סדרת מאיצים לרכיב המאגד - מאיצים גנריים ו GPU - עם כח מחשוב המותאמים לטכנולוגיות AI שונות.

» FOOD IOT/Big Data

פלטפורמה טכנולוגית לאיסוף ועיבוד מידע בשרשרת יצור המזון

אפיון ובניית ארכיטקטורת IoT / Big data מבוססת רב שכבתית מוגנת סייבר, פיתוח אלגוריתם יעיל, מבנה נתונים וערוצי הפצת מידע לניהול מקומי ומבוזר, פיתוח מערכות תומכות החלטה לקביעת הרובד ואבני הבניין בהן תבוצע כל פעילות.

» Next Generation "Near Real-Time" IoT Platform

שיפור אמינות התגובות, המסקנות, ההחלטות והחיזוי בתהליכים "חיוניים" המבוססים על מידע במערכות IoT על מנת לאפשר עבודה מבוססת וריכוזית שתקבע אוטומטית בהתאם לאופי השירות הנדרש. המאגד יחקור ויפתח ארכיטקטורת IoT מבוססת רב שכבתית מוגנת סייבר (Security by Design) המורכבת מפלטפורמות חישוביות, מערכות ההפעלה רלוונטיות, מבנה נתונים לניהול מקומי ומבוזר.

» פלטפורמה טכנולוגית להרצת יישומים מבוססי למידה עמוקה בכלי תחבורה אוטונומיים

שיפור היכולת העצמאית של מערכות אוטונומיות לפענוח מצבים, להפקת תובנות ולקבלת החלטות לגבי פעולה נדרשת באמצעות טכנולוגיות למידה עמוקה בעיבוד יעיל של המידע הנקלט בחיישנים בזמן אמת.

פיתוח אלגוריתמים ושיטות יעילות בלמידה עמוקה לפענוח תמונת מצב באמצעות הנתונים המתקבלים מחיישני הפלטפורמה בזמן אמת, פיתוח אלגוריתמים ושיטות של reinforcement learning עבור אתגרי קבלת החלטות במערכות אוטונומיות בזמן אמת.

» מאגד מטרולוגיה

פיתוח טכנולוגיות מדידה חדשות לרבות ניתוח מאפיינים של חומרי המבנה, אלגוריתמים וחומרת עיבוד ייעודית, לביצוע מדידות וסיווג ממצאים, המטפלים בריבוי פרמטרים משפיעים ובמופע מידע מהיר (מבוססים על טכנולוגיות למידת מכונה).

קרב תמיכה במחקר ופיתוח תחרותיים ועידוד חדשנות טכנולוגית

קרן המו"פ - קרן תמיכה במחקר ופיתוח תחרותיים ועידוד חדשנות טכנולוגית מיועדת לחברות ישראליות בכל ענפי התעשייה, המעוניינות לפתח או לשדרג מוצרים וטכנולוגיות. [הקרן מעודדת חדשנות](#) טכנולוגית במטרה לחזק ולקדם את המשק הישראלי ומציעה מסלולים ייעודיים ותמיכה בתחומים רבים ומגוונים כגון: חומרה, תוכנה, תקשורת, מערכות מורכבות, מדעי החיים, מכשור רפואי, סייבר, IOT, פינטק, קלינטק, ועוד.

ISERD

המנהלת הישראלית למו"פ האירופי ISERD מקדמת השתתפות ושיתופי פעולה של גופים ישראלים בתוכניות מחקר ופיתוח באירופה. תכנית המסגרת של האיחוד האירופי למו"פ תעשייתי ואקדמי (הוריזון H2020) מכילה מספר רב של קולות קוראים בתחומי הבינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה, לרוב תחת תכנית העבודה בנושאי ICT, אך גם בתוכניות עבודה נוספות דוגמת FET, חלל, בריאות, אנרגיה, תחבורה ועוד.

טבלה 21: קולות קוראים במסגרת תכנית Horizon 2020 בנושאי בינה מלאכותית, מדעי המידע ורובוטיקה חכמה.

Pillar	Work-program part (Focus Area)
Industrial Leadership	Information and Communication Technologies (ICT)
Industrial Leadership	Nanotechnologies, Advanced Materials, Biotechnology and Advanced Manufacturing and Processing
Industrial Leadership	Leadership in Enabling and Industrial Technologies - Space
Industrial Leadership	Cross-cutting activities
Societal Challenges	Food security, sustainable agriculture and forestry, marine, maritime and inland water research and the bio-economy
Societal Challenges	Health, demographic change and wellbeing
Societal Challenges	SESAR ⁶⁹ Work Plan
Societal Challenges	Climate action, environment, resource efficiency and raw materials
Societal Challenges	Secure societies - Protecting freedom and security of Europe and its citizens
Societal Challenges	Secure, clean and efficient energy
Societal Challenges	Smart, green and integrated transport
Societal Challenges	Shift2Rail Work Plan
Societal Challenges	Clean Sky 2 Work Plan
Excellent Science	Future and Emerging Technologies (FET)

» משרד התחבורה

[התכנית הלאומית לתחבורה חכמה](#) מתוכננת לשנים 2021-2017 במטרה לעודד מחקר ופיתוח, יזמות ותעשייה בתחום התחבורה החכמה בישראל ולייעל את מערך התחבורה באמצעות עידוד שילובן של טכנולוגיות מתקדמות בתחום התחבורה. התכנית מתייחסת לכלי רכב אוטונומיים, חשמליים ומקושרים, מודלים שיתופיים, טכנולוגיות ניטור ועיבוד מידע תחבורתי ותפיסות חדשניות בהפעלת שירותי תחבורה. בתכנית ניתן דגש להפחתת השימוש בנפט, הקטנת הגודש בדרכים ויוקר המחיה, שיפור הבטיחות בדרכים, שמירה על הסביבה ופיתוח התעשייה הטכנולוגית. התכנית תבוצע על-ידי משרדי הממשלה הרלוונטיים.

⁶⁹ Single European Sky ATM Research Joint Undertaking

מטרות התכנית:

- איתור והנגשת מאגרי מידע, כולל מיפוי כבישי
- הקמת מרכז ניסויים לרכב אוטונומי ותחבורה חכמה
- קידום שת"פ אקדמי בין תחומי ורב תחומי, וכן שיתופי פעולה בין מגזריים
- קידום ניסויי שטח ופרויקטי חלוצי "פילוטרים" של טכנולוגיות ושיטות הפעלה חדשות
- גיבוש הצעדים הרגולטוריים הכרוכים בניסוי, הפעלה ומתן שירותי תחבורה חכמה
- קידום שת"פ בינלאומי

עבור התכנית הלאומית לתחבורה חכמה יוקצה תקציב בסך של 238 מיליון ש"ח בשנים 2017-2021, לפי החלוקה הבאה: 5 מיליון ש"ח בשנה מתקציב משרד הכלכלה והתעשייה מתחום הפעולה של הרשות הלאומית לחדשנות טכנולוגית, 5 מיליון ש"ח בשנה מתקציב משרד ראש הממשלה, 5 מיליון ש"ח בשנה מתקציב הוועדה לתכנון ותקצוב במועצה להשכלה גבוהה וכן 163 מיליון ש"ח מתקציב משרד התחבורה.

באוקטובר 2017 נחנך מרכז ניסויים ראשון בישראל לתחבורה אוטונומית וחכמה בנתיבי איילון.

עשרות חברות מובילות מהארץ והעולם צפויות לערוך באתר החדש ניסויים של מערכות חכמות בכלי רכב אוטונומיים. בין החברות הראשונות שהחלו היום ניסויים ARGUS, GENERAL, NEXAR MOBILEYE, INNOVIZ- ו MOTORS, VALERANN.

» משרד הבריאות

קרן מחקר - תמיכה במחקר רפואי

במטרה לתמוך ולקדם את המחקר הרפואי והביו-רפואי בארץ, תעניק לשכת המדען הראשי של משרד הבריאות מענקים למחקר, לסקרי היתכנות ומלגות השתלמות.

קול קורא להגשת הצעות למחקר Big Data במסגרת מיזם תמנע

טכנולוגיות מתקדמות מתחום Big Data - נתוני עתק, מאפשרות לנתח נתונים שעד לאחרונה לא ניתן היה לעבד באמצעות מחשב: אין מדובר רק בשיפור ביצועים ו/או ניתוח מאגרים גדולים אלא בשימוש במחשוב קוגניטיבי, קרי 'למידת מכונה' המאפשרת עיבוד מידע שאינו מובנה כגון טקסט חופשי, דימות, וידאו, קול, נתוני חיישנים וכל מידע זמין ברשת האינטרנט. שיטות העיבוד החדשות מאפשרות מציאת חוקיות גם במקבצי נתונים בהם מובהקות סטטיסטית אינה מושגת. במסגרת מיזם תמנע (תשתיות מחקר נתוני עתק), מקדם משרד הבריאות תהליך של איסוף, אגירה וניתוח נתונים בטכנולוגיות המתוארות לעיל במטרה לסייע למערכת הבריאות וגופי מחקר שונים להפיק מהנתונים תועלת לציבור.

הפלטפורמה הנבנית על ידי המשרד הינה חלק ממגמה עולמית בתחום הבריאות למימוש הפוטנציאל העצום הטמון בנתונים לשיפור מערכת הבריאות, בין השאר על ידי יצירת תהליכי טיפול חדשניים בהתאם לדפוסים ותבניות במידע שלא היה ניתן לזהותם עד היום.

משרד הבריאות פונה לסטארט-אפים במסגרת "מרכזי אתגר"

משרד הבריאות מחפש יזמים וחברות טכנולוגיה ליישום פתרונות חדשניים מבוססי כלים דיגיטליים במערכת הבריאות בישראל, בתחום ה-Digital Healthcare שמציעים פתרונות לאחת משלוש בעיות: השמנה, טעויות רפואיות ועומס בחדרי מיון. הצעות שיימצאו מתאימות יזכו לבצע פיילוט במימון מלא של המדינה. הצלחה בפיילוט יכולה להוביל לפריסה במערכת הבריאות.

ב- 2015 פרסם משרד הבריאות מכרז עבור המערכת לאיסוף, ניהול ואנליזה של מידע מובנה ומידע בלתי מובנה בטכנולוגיות Big Data עבור משרד הבריאות.

חזון פרויקט בריאות דיגיטלית הוא: "קפיצת מדרגה במערכת הבריאות שתאפשר הפיכתה לבת קיימא, מתקדמת, חדשנית, מתחדשת ומשתפרת באופן מתמיד, על ידי מינוף מיטבי של טכנולוגיות המידע והתקשורת העומדים לרשותה, למען שיפור הבריאות לכלל אוכלוסיית ישראל".

מטרות הפרויקט הן: הקמת תשתית לאומית לחדשנות ולבריאות מתקדמת, קידום שיח ותפיסה של חדשנות במערכת הבריאות, קידום הטמעה של שירותי בריאות חדשניים במערכת הבריאות, קידום גישה שוויונית לשירותי בריאות מתקדמים באמצעות מינוף הטכנולוגיה, חיזוק מערכת הבריאות הציבורית באמצעים דיגיטליים כלל-מערכתיים, חיבור והגברת שיתוף הפעולה בין ארגוני הבריאות באמצעות פתרונות טכנולוגיים, שיפור בריאות האוכלוסייה על ידי הגברת האוריינות הבריאותית והנגשת מידע לפרט, הגברת אפקטיביות ניהולית ויכולות קביעה ועיצוב מדיניות במערכת הבריאות על בסיס מידע, קידום כלים וערוצים דיגיטליים, אשר שמים את המטופל כאדם במרכז התנהלות מערכת הבריאות, אסדרת שוק הבריאות הדיגיטלית בישראל על כלל היבטיו ומיצוב הבריאות הדיגיטלית כמנוע צמיחה של המשק הישראלי.

תפיסת המימוש של האסטרטגיה כוללת, בין היתר התייחסות למידע "כעורק חיים" של מערכת הבריאות (בנקודת מפגש עם המטופל, בתיק רפואי ממוחשב, ברצף הטיפול, בשיתוף מידע ובמידע בריאות לעתיד) ולתמורות בריאות מבוססות טכנולוגיה אצל הפרט (טיפול מותאם אישית וקידום הבריאות) וברמה המערכתית (בריאות בר קיימא ובריאות זמינה).

בנושא רפואה מותאמת אישית, לדוגמא, מוביל משרד הבריאות יחד עם שותפים רבים במערכת הממשלתית והאקדמית מיזם לאומי לבריאות מותאמת אישית – **מיזם פסיפס**. במסגרת המיזם תוקם תשתית מחקר ראשונה מסוגה, אשר תתבסס על קהילת מתנדבים שותפים, שיסייעו יחד לפתח טיפולים רפואיים חדשים המותאמים למגוון הקהילות המרכיבות את החברה הישראלית ולממש את חזון הרפואה המותאמת אישית. בהיבט הלאומי מימוש המיזם יוכל להוות מנוף לצמיחה במשק, לאפשר לפתח יזמות חדשות וכפועל יוצא גם ליצור מקומות עבודה חדשים. בהיבט הבינלאומי צפויה עלייה בשיתופי פעולה, הנובעת מהמגוון הגנטי של האוכלוסייה (קיבוץ גלויות), איכות והיסטוריית המידע הקליני ומאיכות ורמת המחקר הרפואי והחישובי בארץ.

תקציב מיזם בריאות דיגיטלית עומד על כ- 922 מיליון ₪ לחמש שנים.

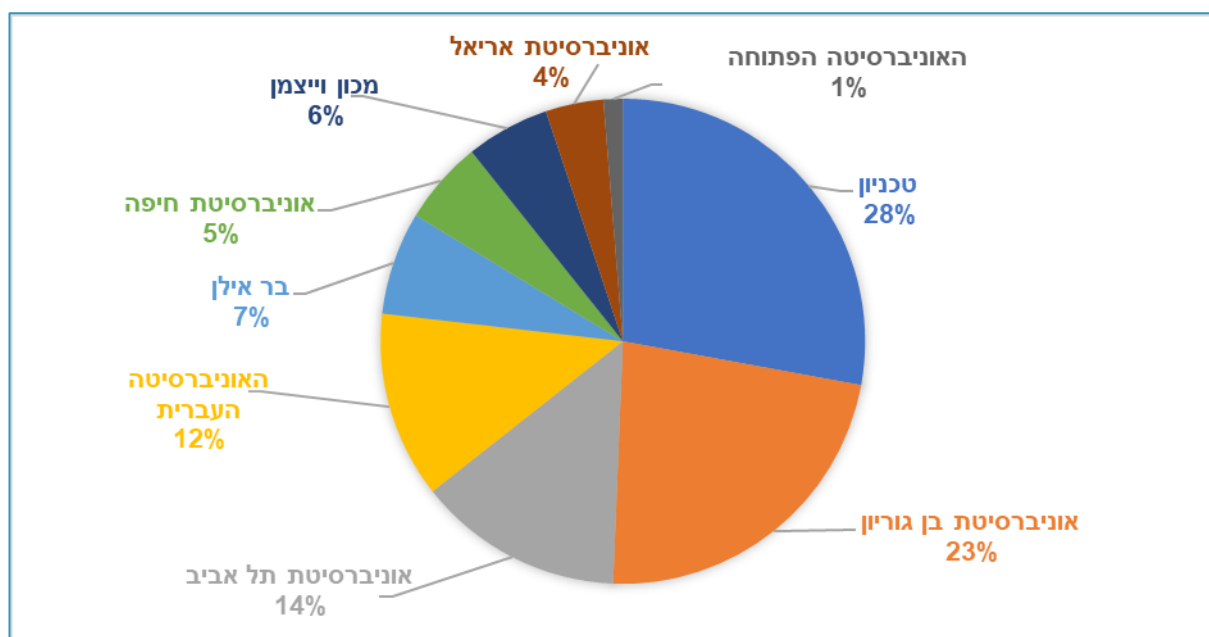
⁷⁰ <https://www.health.gov.il/PublicationsFiles/DigitalHealthStrategyApril2017.pdf>

» חוקרים באקדמיה

מיפוי החוקרים בוצע על ידי חיפוש ביטויי מפתח (ראו איור 33) בתוך תחומי העניין של כל החוקרים בפקולטות הרלוונטיות בכל האוניברסיטאות והמכללות בישראל^{72,71}.

נמצאו 271 חוקרים שבתחומי העניין שלהם הופיעו ביטויי המפתח, מהם 233 באוניברסיטאות ו-38 במכללות. כמחצית מהחוקרים באוניברסיטאות הם מהטכניון או מאוניברסיטת בן גוריון. כמחצית מהחוקרים במכללות הם מהמרכז הבין תחומי בהרצליה, המכון הטכנולוגי חולון והמכללה האקדמית על שם סמי שמעון.

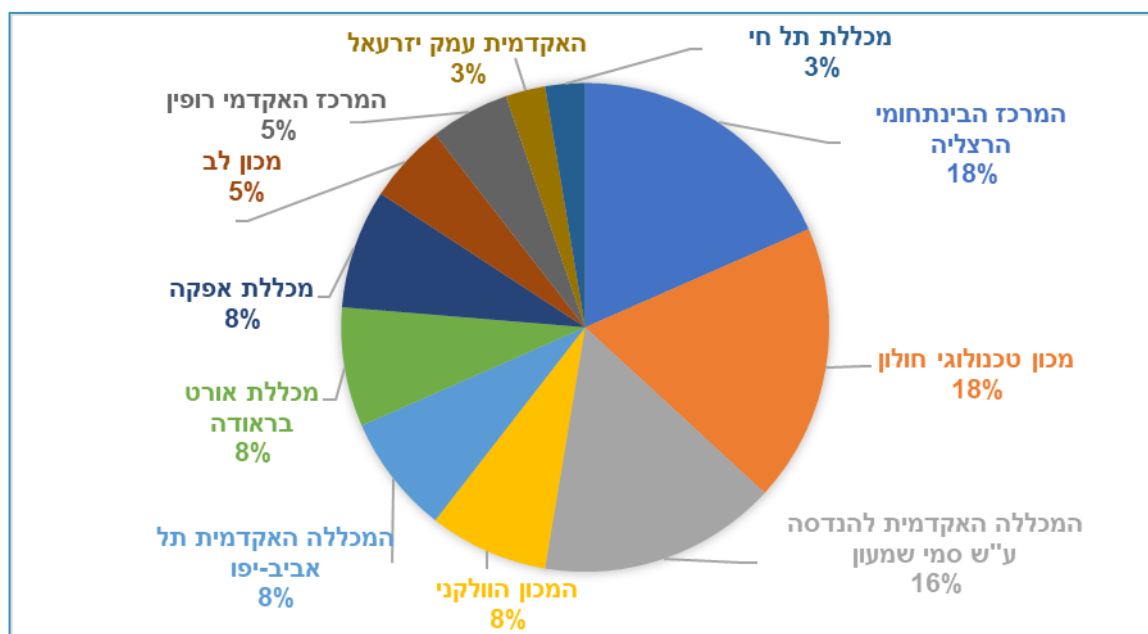
איור 30: התפלגות חוקרים במיפוי לפי מוסד- אוניברסיטאות



⁷¹ **המוסדות שנסקרו:** אוניברסיטת אריאל, אוניברסיטת בן גוריון, אוניברסיטת חיפה, אוניברסיטת תל אביב, אוניברסיטת בר אילן, האוניברסיטה העברית, הטכניון, מכון וייצמן למדע, האוניברסיטה הפתוחה, בית הספר הגבוה לטכנולוגיה, מכון לב, האקדמית עמק יזרעאל, המכון הוולקני, המכללה האקדמית להנדסה ע"ש סמי שמעון, המכללה האקדמית תל אביב-יפו, המרכז האקדמי רופין, המרכז הבינתחומי הרצליה, המכון הטכנולוגי חולון, מכללת אורט בראודה, מכללת אפקה, מכללת תל חי.

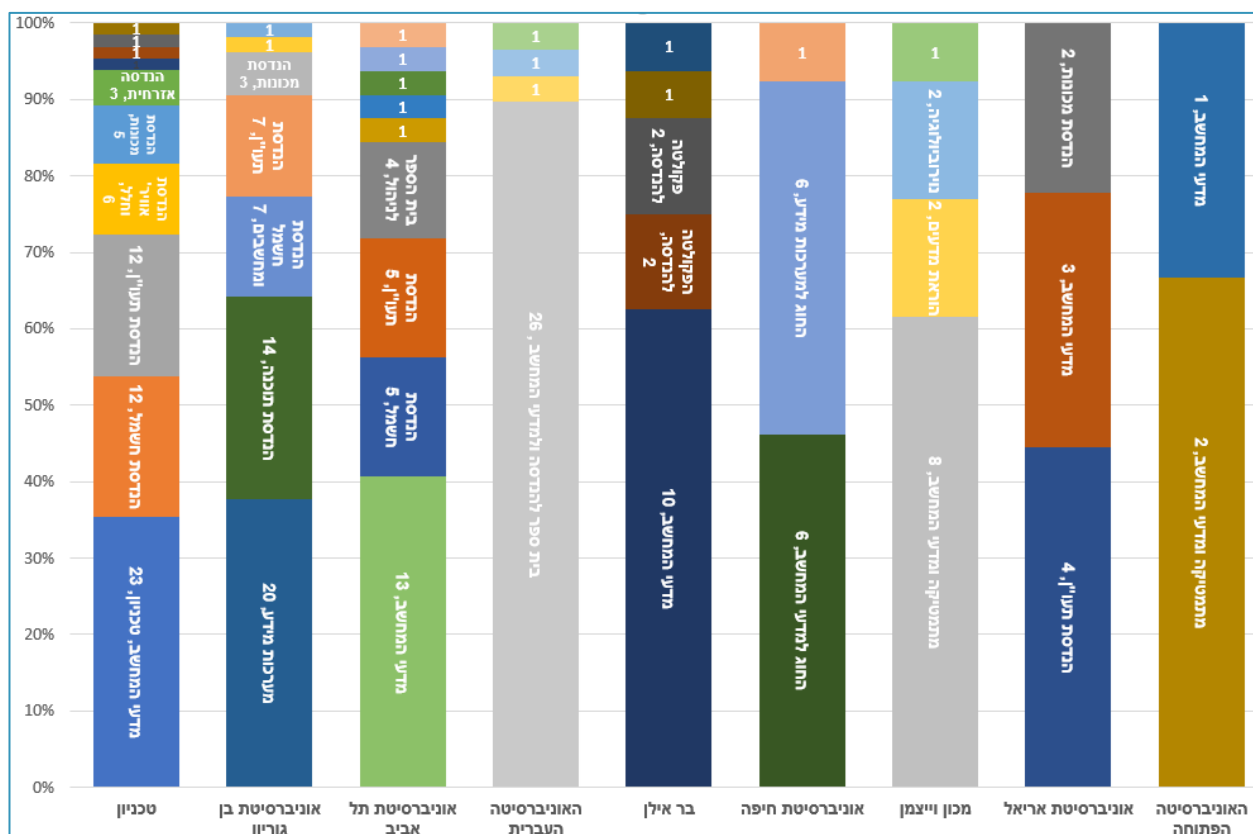
⁷² **פקולטות, יחידות ותחומים שנסקרו:** ביולוגיה (כולל גנטיקה, ביולוגיה מולקולרית, ביוטכנולוגיה ונירוביולוגיה), הוראת מדעים, הנדסה אזרחית וסביבתית, הנדסה ביו רפואית, הנדסה חקלאית, הנדסת אווירונאוטיקה וחלל, הנדסת חשמל (ומחשבים), הנדסת ידע ורובוטיקה, הנדסת מכונות, הנדסת תוכנה, הנדסת תעשייה וניהול, חקר המוח, מדעי המחשב, מדעי הקוגניציה והמוח, מנהל עסקים, מערכות מידע, משפטים, מתמטיקה, ניהול טכנולוגיה, סטטיסטיקה, פיזיקה, פילוסופיה, רפואה ותקשורת.

איור 31: התפלגות חוקרים במיפוי לפי מוסד- מכללות



מרבית החוקרים באוניברסיטאות המובילות במספר החוקרים הם מהפקולטות/מחלקות למדעי המחשב/הנדסת תוכנה, הנדסת חשמל והנדסת תעשייה וניהול/מערכות מידע. ישנם חוקרים בתחומים הרלוונטיים גם בפקולטות/מחלקות להנדסת אווירונאוטיקה וחלל, הנדסת מכונות, הנדסה אזרחית וניהול. בפקולטות אחרות כמו ביולוגיה או מדעי החברה והרוח ישנם חוקרים בודדים. איור 32 מציג את התפלגות החוקרים בפקולטות/מחלקות לפי אוניברסיטאות:

איור 32: התפלגות חוקרים במיפוי לפי אוניברסיטאות ולפי פקולטות

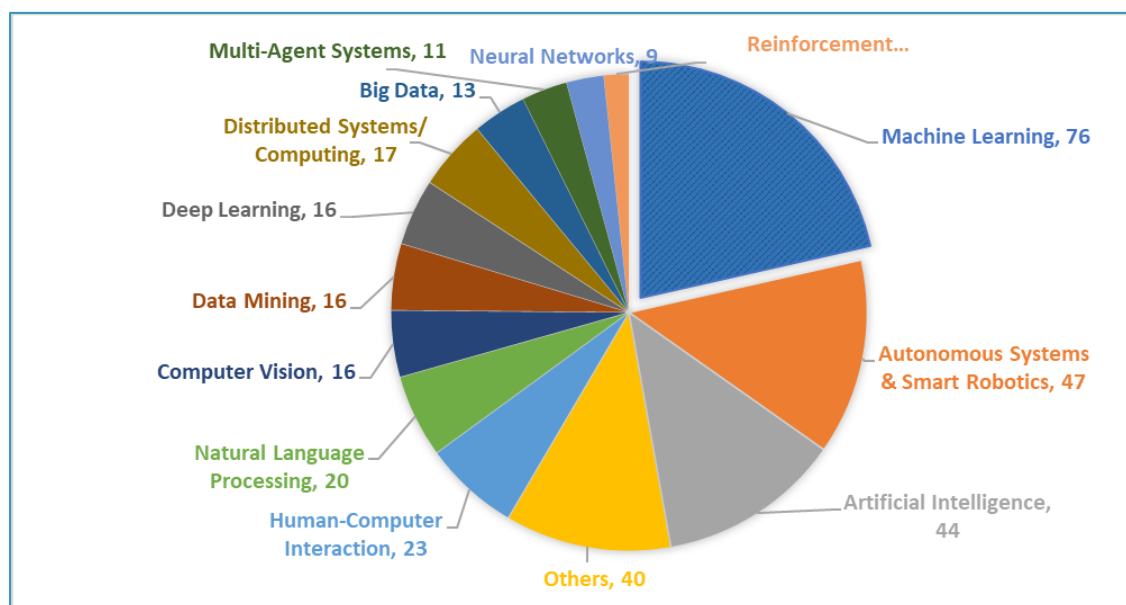


תחומי העניין המובילים אצל החוקרים במיפוי הם

- Machine Learning
- Artificial Intelligence
- Autonomous Systems & Smart Robotics

תחומי עניין נוספים הם Computer- ,Natural Language processing ,Human-Computer Interaction ,Neural ,Multi-Agent Systems ,Big Data ,Distributed Systems/Computing ,Data Mining ,Vision ,Reinforcement Learning-ו Networks. איור 33 מציג את מספר הפעמים בהם מופיעים תחומי עניין אלו אצל החוקרים במיפוי:

איור 33: תחומי עניין אצל חוקרים במיפוי



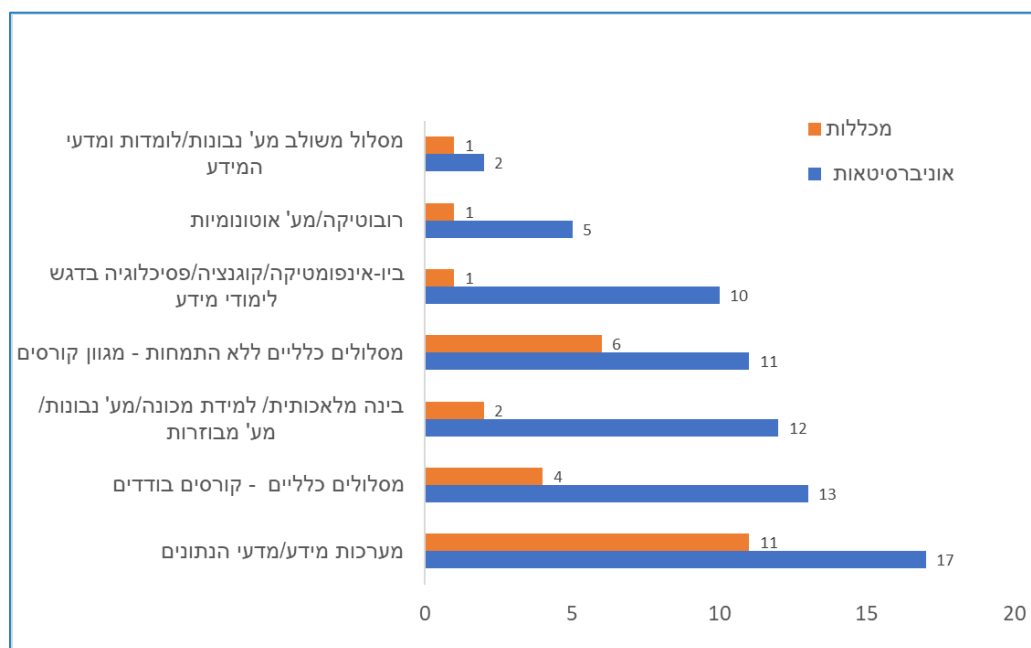
מקור: עיבוד של מוסד שמואל נאמן לנתוני ULI - קטלוג מאוחד ישראלי

» מסלולי הכשרה באקדמיה

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

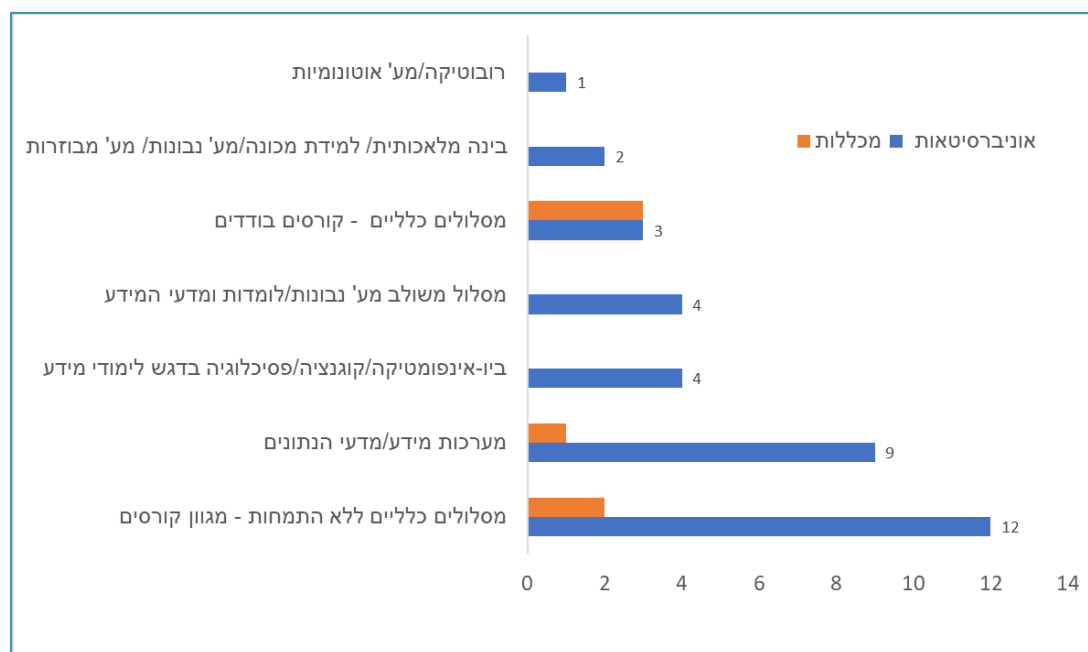
פירוט המתודולוגיה ורשימת הקורסים המלאה נמצאים ב-0 נספח 5: מסלולים בתחומי הבינה המלכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה באקדמיה.

איור 34: התפלגות מסלולים לפי סיווג - תואר ראשון



מקור: מוסד שמואל נאמן

איור 35: התפלגות מסלולים לפי סיווג - תארים מתקדמים

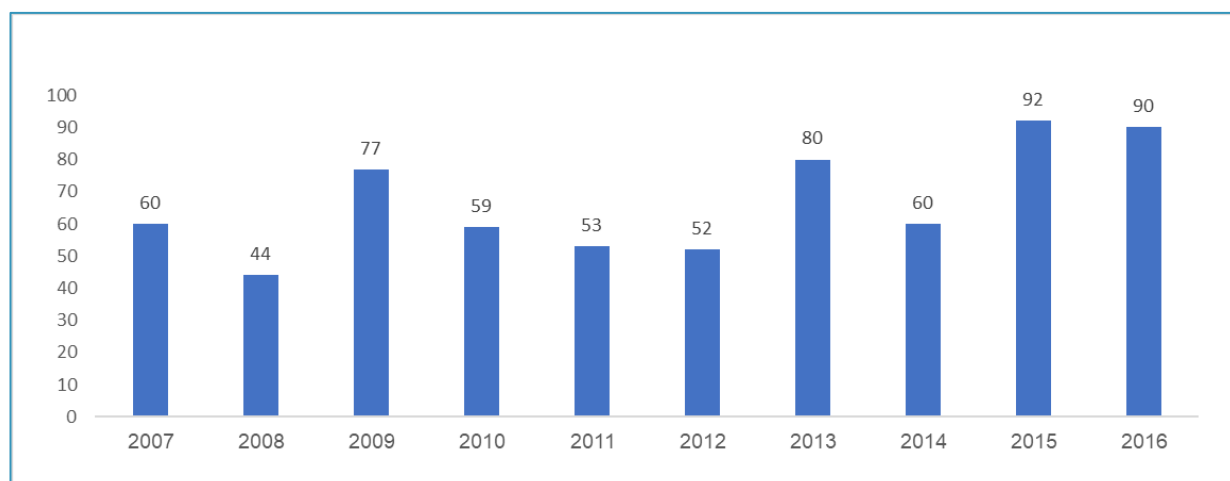


מקור: מוסד שמואל נאמן

» מיפוי תזות

בקטלוג המאוחד הישראלי (Israel Union List-ULI) של הספרייה הלאומית⁷³ ניתן למצוא נתונים לגבי תזות לתואר שני ושלישי באוניברסיטאות בישראל. החיפוש במאגר התזות נעשה לפי ביטויי מפתח (ראו איור 38) בכל מקום בתזה, בין השנים 2007-2016. נמצאו 694 תזות לתארים שני ושלישי בתקופה שנבדקה. איור 36 מציג את התפלגות התזות לתארים שני ושלישי לפי שנים:

איור 36: תזות לתארים שני ושלישי לפי שנים, 2016-2007

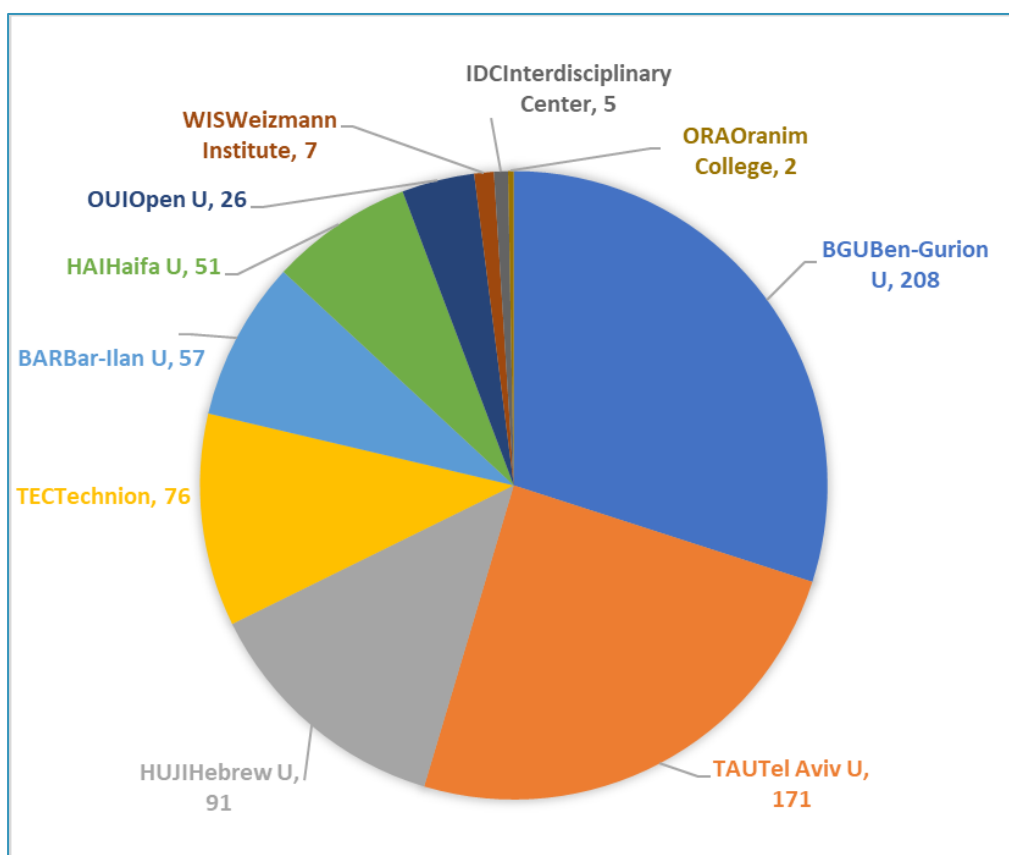


מקור: עיבוד של מוסד שמואל נאמן לנתוני ULI - קטלוג מאוחד ישראלי

מספר התזות הממוצע לשנה עלה מכ-59 תזות בחמש השנים הראשונות בעשור שנבדק לכ-75 תזות בחמש השנים האחרונות של העשור, כאשר עיקר הגידול התרחש בשנים 2015 ו-2016 (92 ו-90 תזות בהתאמה).

איור 37 מציג את התפלגות התזות לפי מוסדות מחקר. כ-55% מכלל התזות בוצעו באוניברסיטת בן גוריון ואוניברסיטת תל-אביב.

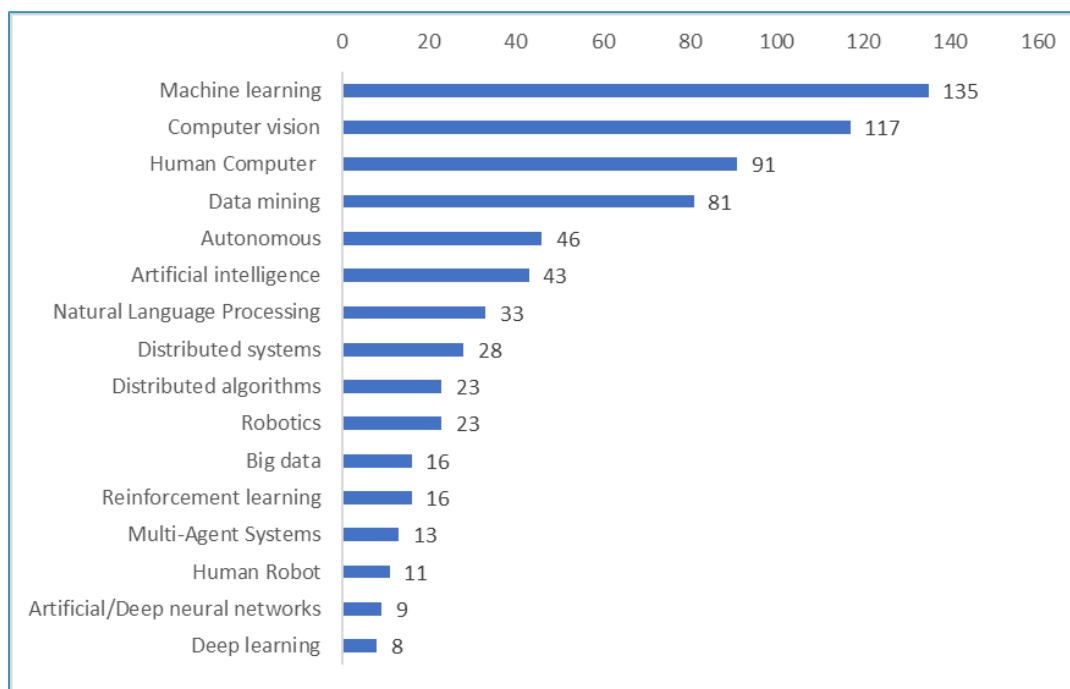
איור 37: תזות לתארים שני ושלישי לפי מוסדות מחקר, 2017-2007



מקור: עיבוד של מוסד שמואל נאמן לנתוני ULI - קטלוג מאוחד ישראלי

ביטויי המפתח הנפוצים ביותר המופיעות בתזות הן Machine Learning, Computer Vision, human-artificial, Computer Interface ו-Data Mining. ביטויים נוספים המופיעים בתזות הם Autonomous, Intelligence, Natural Language Processing, Distributed systems, Robotics, Big Data ואחרים. איור 38 מציג את התפלגות התזות לפי ביטויי מפתח:

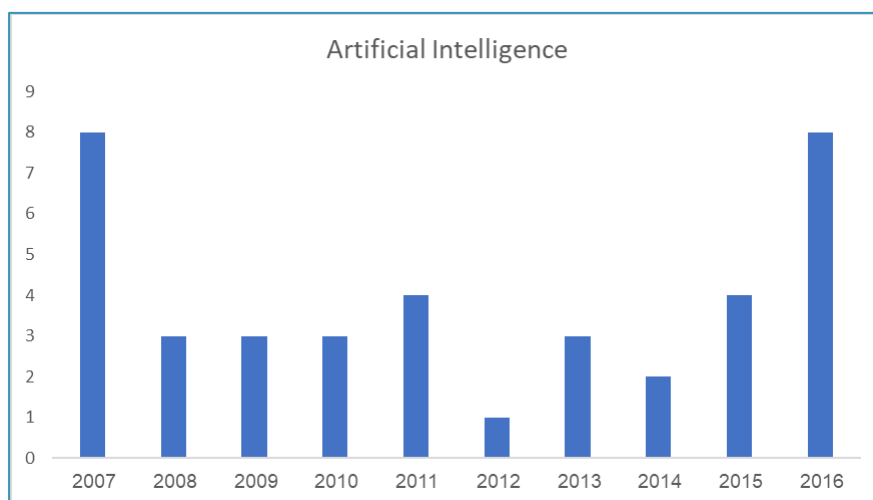
איור 38: התפלגות תזות לפי ביטויי מפתח, 2016-2007



מקור: עיבוד של מוסד שמואל נאמן לנתוני ULI - קטלוג מאוחד ישראלי

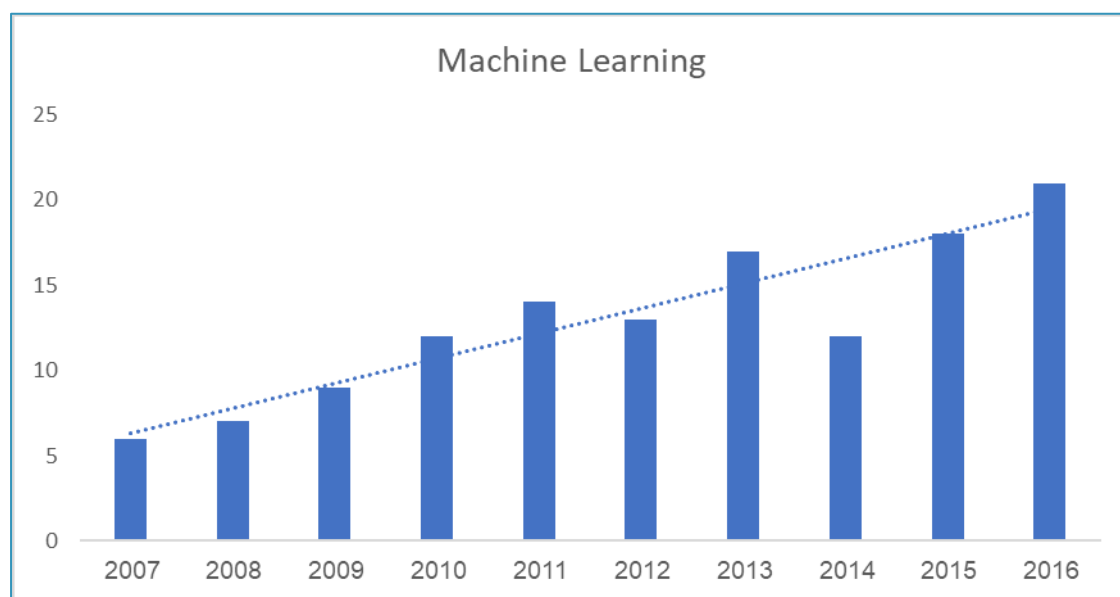
התפלגות התזות לפי נושאים על פני השנים משקפת את מידת הפופולריות של הנושאים בתקופות מסוימות. כך למשל המספר הגבוה ביותר של תזות שיש בהן את ביטוי המפתח 'Artificial Intelligence' נמצא בשנים 2007 ו-2016 (איור 39), בעוד מספר התזות שיש בהן את ביטוי המפתח 'Machine Learning' נמצא בעלייה מתמדת לאורך העשור (איור 40):

איור 39: התפלגות תזות שיש בהן את ביטוי המפתח 'Artificial Intelligence', 2016-2007



מקור: עיבוד של מוסד שמואל נאמן לנתוני ULI - קטלוג מאוחד ישראלי

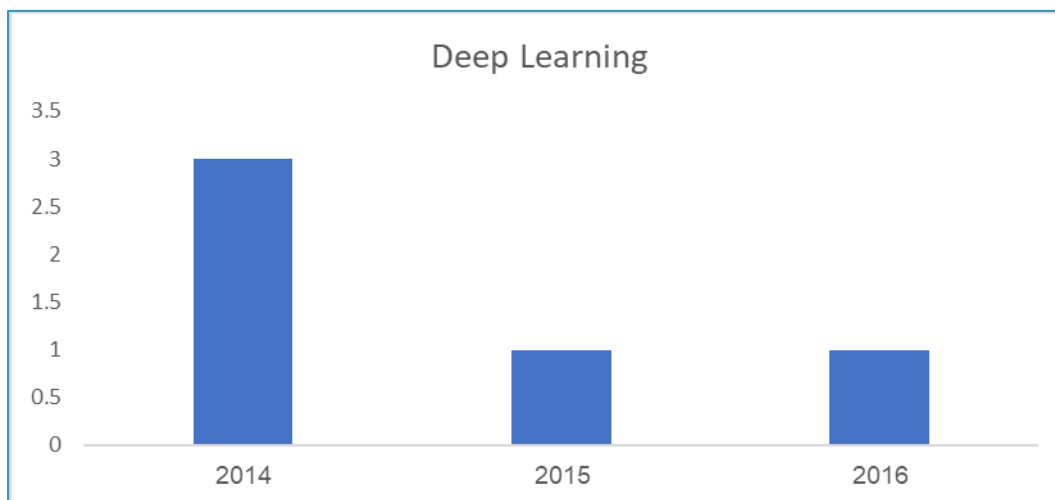
איור 40: התפלגות תזות שיש בהן את ביטוי המפתח 'Machine Learning', 2016-2007



מקור: עיבוד של מוסד שמואל נאמן לנתוני ULI - קטלוג מאוחד ישראלי

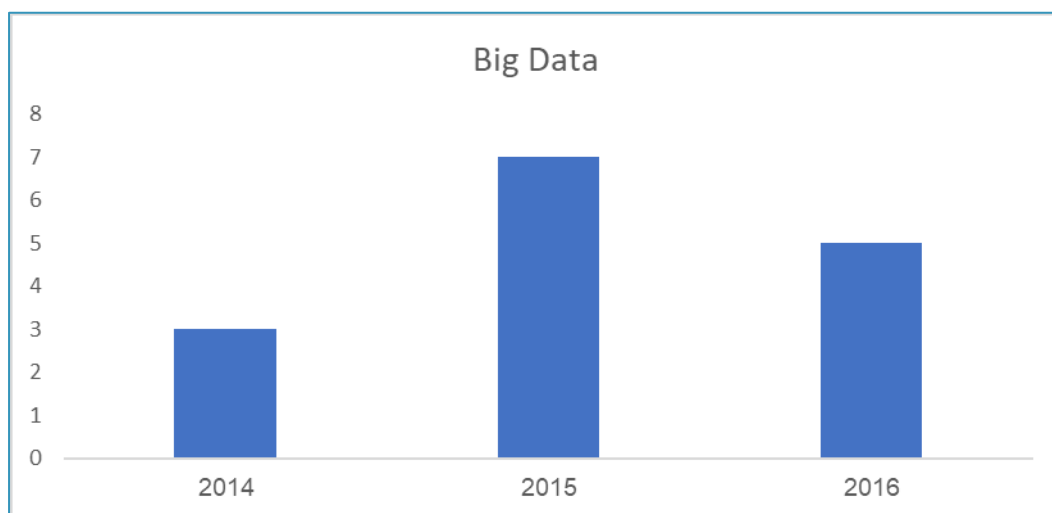
ביטויי המפתח 'Deep Learning' ו-'Big Data' מופיעים בתזות רק החל משנת 2014:

איור 41: התפלגות תזות שיש בהן את ביטוי המפתח 'Deep Learning', 2016-2007



מקור: עיבוד של מוסד שמואל נאמן לנתוני ULI - קטלוג מאוחד ישראלי

איור 42: התפלגות תזות שיש בהן את ביטוי המפתח 'Big Data', 2016-2007



מקור: עיבוד של מוסד שמואל נאמן לנתוני ULI - קטלוג מאוחד ישראלי

◀ מערכת הביטחון

צרכי הצבא ומערכת הביטחון בתחומי הבינה המלאכותית, מדעי הנתונים, מערכות אוטונומיות ורובוטיקה הולכים ומתפתחים ואיתם גם הצורך בכוח אדם מתאים.

תחומים אלה מתפתחים באופן מואץ הן לצרכי המודיעין והן לצרכי הפעילות המבצעית, וכוללים התמודדות עם מקורות מידע שונים, בהיקפים גדלים והולכים. נגזרים מכך צרכי קליטת ואחסון הנתונים והפיכתם לידע - ארגון וטיוב שלהם, עיבודם, הסקת מסקנות וקבלת החלטות מהירות בזמן אמת.

מערכות אוטונומיות ובכלל זה רחפנים בעלי ביצועים מותאמים לצרכי המשימות המשתנות, רובוטים, כלי רכב וכלים משימתיים אחרים, שו"ב, התנהלות עצמאית ובלהקות, סנסורים, היתוך נתונים ועיבוד מידע, הסקת מסקנות וקבלת החלטות – כל אלה נמצאים בפיתוח וישנם אף אמצעים מבצעיים או בשלבי פיתוח והטמעה מתקדמים, וככל הנראה בחזית הידע והיכולת בעולם.

ההתפתחות המואצת של תחומי הבינה המלאכותית ומדעי הנתונים כוללת לא רק מערכות ותשתיות אלא צפי לשינוי ארגוני ותרבותי שיחייב את המערכת הביטחונית בשנים הקרובות, ועליה להיערך לכך הן ברמה האנושית, הן ברמת הפתיחות והאמון במערכות והן ברמת ההתמודדות עם בעיות רלוונטיות של סיווג ואבטחה.

החסמים האופייניים למערכת הביטחון מחד, וקצב ההתפתחות המהיר של נושאים אלה בעולם האזרחי, גורמים למציאות בה הפיתוחים והתשתיות האזרחיות מובילים ומושכים קדימה ויש צורך לרתום את היכולות האזרחיות לצרכי המערכת הביטחונית.

כמו כן, תצטרך המערכת הביטחונית על שלל בעיות הסיווג והמידור המאפיינים אותה לפתח יכולות הן תשתיות והן ארגוניות וכ"א מתאים, לייצור, שמירת, טיפול, עיבוד והנגשת נתונים לכלל המערכת על כל שלוחותיה.

ככל שהדרישות גדלות והיכולות מתפתחות, נדרשות תשתיות הן באמצעים והן בכ"א, וכאמור צרכים אלה הולכים וגדלים בקצב מהיר.

מהנדסי ומדעני נתונים ומידע ידרשו בצבא ובגופים הביטחוניים האחרים בעתיד הקרוב בכמות ובקצב גדלים והולכים, כמו גם חוקרים ומהנדסים בתחומי הרובוטיקה ותחומים משלימים נוספים.

במקביל, כה"א הנקלט והמוכשר בצבא בתחומי הטכנולוגיה השונים, מהווה תשתית כ"א מובילה גם לצרכים האזרחיים בהמשך ותשתית מהותית בפיתוח התעשייה הטכנולוגית המתקדמת בארץ כמו בתחומי הסייבר ועוד. תעשיית הסייבר מתקדמת מאוד בארץ, ומביאה הרבה מידע. הסייבר והבינה המלאכותית מזינים אחד את השני, והסייבר הוא אחד מנועי הצמיחה של הבינה המלאכותית. מנועי צמיחה נוספים הינם ערים חכמות ותעשיית הפרסום הממוקד שדומה מאוד באופיו לעיסוק במודיעין.

תשתית חיונית ומהותית לעולם מדעי המידע והבינה מלאכותית בכלל, ולמערכת הביטחון בפרט, הינה הנתונים. הסולולר והבריאות הינם שחקנים חשובים לייצור נתונים כמו גם משרדי הממשלה וגופים נוספים ברמת המדינה.

הצבא וגופי המודיעין מעוניינים מאוד שתהיה השקעה ברמת המדינה בחוות ענן בשיתוף עם אחת החברות המובילות בתחום, שיהיה בה חלק אזרחי פתוח וחלק בטחוני מופרד וסגור. תשתית כזו שתוקם לדוגמה בנגב, הינה מתקן פיזי שביא הרבה עבודה לאזור, ומהווה משאב מחשוב חיוני ונגיש גם בעתות חירום.

מעבר לחשיבה שנעשית בצבא בתחומי התשתית הנדרשת, ישנן כיום בצבא מספר תוכניות ומסלולי גיוס במסגרות הכשרת כה"א האקדמי והטכנולוגי, והצבא פועל בשוטף להתאים אותן לצרכיו המשתנים, ובכלל זה על מנת להתאים אותן להכשרת ולקליטת כה"א שיידרש בעתיד הקרוב בתחומים אלה, ובפרט בתחומי הטיפול בנתונים וצרכי גופי הפיתוח הרלוונטיים.

במסגרת העתודה האקדמית, כמו גם במסגרת מסלולים משלימים ומתחרים במפא"ת/פסגות ובאמ"ן, ניתן דגש להכוונת כה"א האקדמי ללימוד מדעי המידע.

כמו כן, נעשים מאמצים להסללת מהנדסים לתואר שני בהנדסת חשמל או בכל מקצוע הנדסי אחר.

קיימת בצבא וועדת היגוי העוסקת בכך ומורכבת מהגורמים הרלוונטיים בעתודה, מפא"ת, ועוד.

נפתחו בתיאום עם ות"ת מסלולים ייעודיים. מסלול ראשון במדעי המידע נפתח בטכניון תחת הפקולטה לתעו"נ במסגרתו נקלטו במחזור הראשון עשרה עתודאים, במחזור השני חמישה עשר עתודאים ובשנה הבאה עומדים להכפיל את הכמות. מסלולים מקבילים אושרו לאחרונה באונ' בן גוריון ובאונ' העברית, ומסלולים נוספים ממתכננים לאישור ות"ת באוניברסיטאות נוספות.

תוכנית האקדמיזטור מטפלת בקליטת מתגייסים שהשלימו תואר ראשון במקביל ללימודי התיכון, במימון עצמי, ללא הכוונה ומחויבות מצד הצבא. ישנם כיום כארבע מאות אקדמיזטורים בשנה, ונעשים מאמצים להכווין אותם לדחיית שרות של שנתיים והשלמת תואר שני במדעי המידע באונ' בר אילן ובאונ' בן-גוריון, מתוך ציפייה להצליח להכשיר ולגייס כך כעשרה אחוז מהם, בדומה למסלול הגמא סייבר באמ"ן שמטפל בכמה עשרות אקדמיזטורים להנדסת תוכנה.

באמ"ן קיים גם קורס מטמו"ן לפיתוח אנשים לעולם ה-Big Data – "מפתח טכנולוגיות מידע ונתונים".

נעשה באמ"ן נסיון להכניס את התחומים האלה למערכת החינוך, ללא הצלחה בשלב זה (סילבוס מוכן שפותח בשיתוף עם רשת עמל, כבר כשנתיים במגעים עם משרד החינוך).

יחד עם זה כאמור, נדרשים בצבא לטיפול בכמויות נתונים גדולות וממקורות מידע שונים. לצורך כך נדרשים לא רק מהנדסים וחוקרים אלא גם משק"י נתונים או "מהנדסי נתונים" data engineers. הכישורים הנדרשים מהם הינה גישה טכנולוגית ויכולת על המקלדת.

קורס "משק"י חוקר נתונים data analyst עומד להיפתח בימים אלו בשיתוף אמ"ן ותקש"ב. הקורס מתוכנן להימשך 5 שבועות במסגרתם יוקנו לחניכים כלי DL/ML. הקורס מיועד לבוגר בגרות 5 יחידות מתמטיקה ו-10 יחידות מחשבים, שיאותרו לצורך כך.

ההתפתחות המואצת בתחומי ה-DS בשוק האזרחי, מקשה במידה מסוימת על תכנון כה"א בצבא שכן תנאי ההעסקה מושכים, וחיילים עם 4 שנות ניסיון נחטפים עם משכורות עתק.

בתחום הכלים היבשתיים האוטונומיים נמצאים בפני קפיצת מדרגה בדומה למה שקרה בכטב"מ. ישנה תחרות גדולה מצד התעשייה הביטחונית. הפערים הטכנולוגיים מתמקדים בכלי ניווט, ניהול משימה ובקרה, כאשר בשנים האחרונות הטכנולוגיה הבשילה. חלק מהותי מהעבודה נעשה בכלי ML/DL, ו-reinforcement - תפעול ממשקי מכונה קרקע, מיפוי זמן אמת, ניהול משימה, קבלת החלטות בזמן אמת והורדת עומס מהמפעיל.

עקב הפעילות הענפה במדינה בנושא רכבים אוטונומיים, למעלה מ-500 סטארט-אפים עוסקים בתחום, ישנו מחסור וקשה לגייס כח אדם מתאים.

קיימת תשתית ניסויית בשיתוף משרד התחבורה (מרכז לאומי לאוטונומיה בניהול נתיבי איילון), אך כאמור מורגש מחסור בכ"א מתאים בתחומי ה-DS בכלל אך גם בכ"א בעל הכשרה ברובוטיקה ומכטרוניקה.

בתעשייה גם מדגישים שכח המחשוב הנדרש למשימות הפיתוח גדול ועלותו בהתאם, אם כי אין תמימות דעים בנושא שכן נשמעה גם טענה הפוכה שהתעשייה יכולה להשקיע בכוח המחשוב הנדרש בעוד שהשקעה מרכזית יכולה להיחפץ לפיל לבן. במקביל, מצביעים גם על כך שאין מספיק שיתוף פעולה בין התעשיות הגדולות, אקדמיה ותעשיות קטנות שדווקא בתחומים מולטי דיסציפלינריים מתפתחים אלה חיוני במיוחד. בהתאם, היו מעוניינים בפרויקט גדול שיאפשר הן את רכישת כוח המחשוב הנדרש והן את החיבור לאקדמיה ולתעשיות האזרחיות.

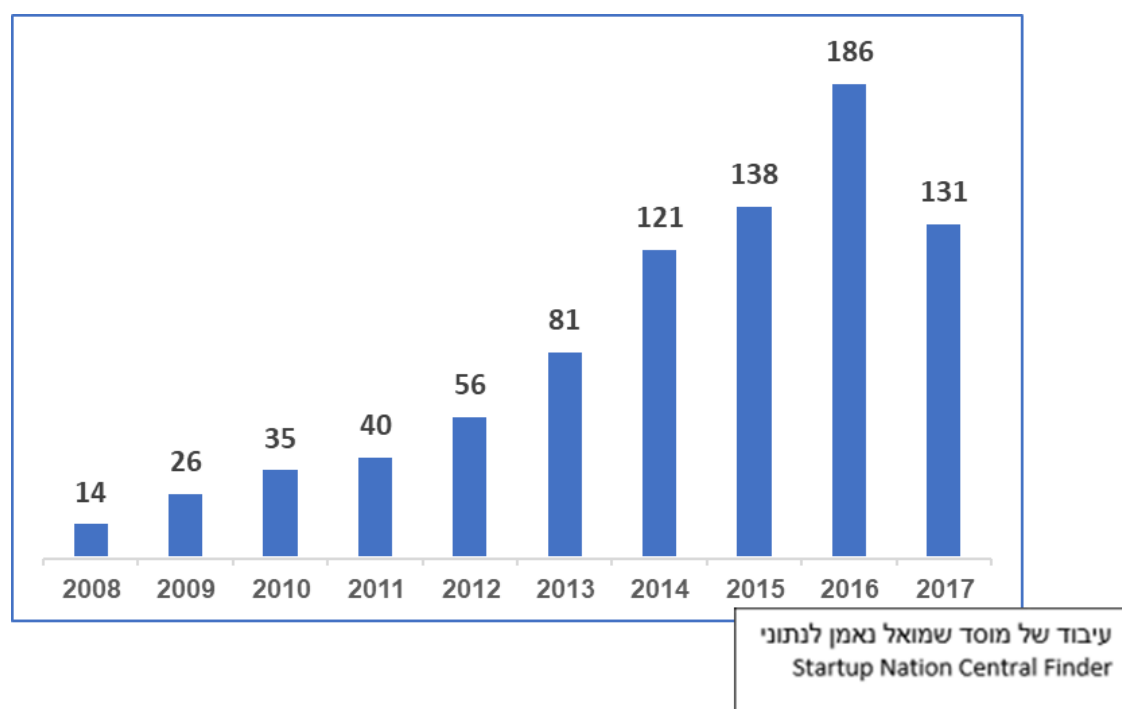
◀ תעשייה

נכון לתחילת חודש יוני היו בישראל 898 חברות טכנולוגיה שתוייגו במאגר ה-Startup Nation Central Finder בלפחות אחת מהתגיות הבאות:

- artificial-intelligence
- machine-learning
- big-data-analytics

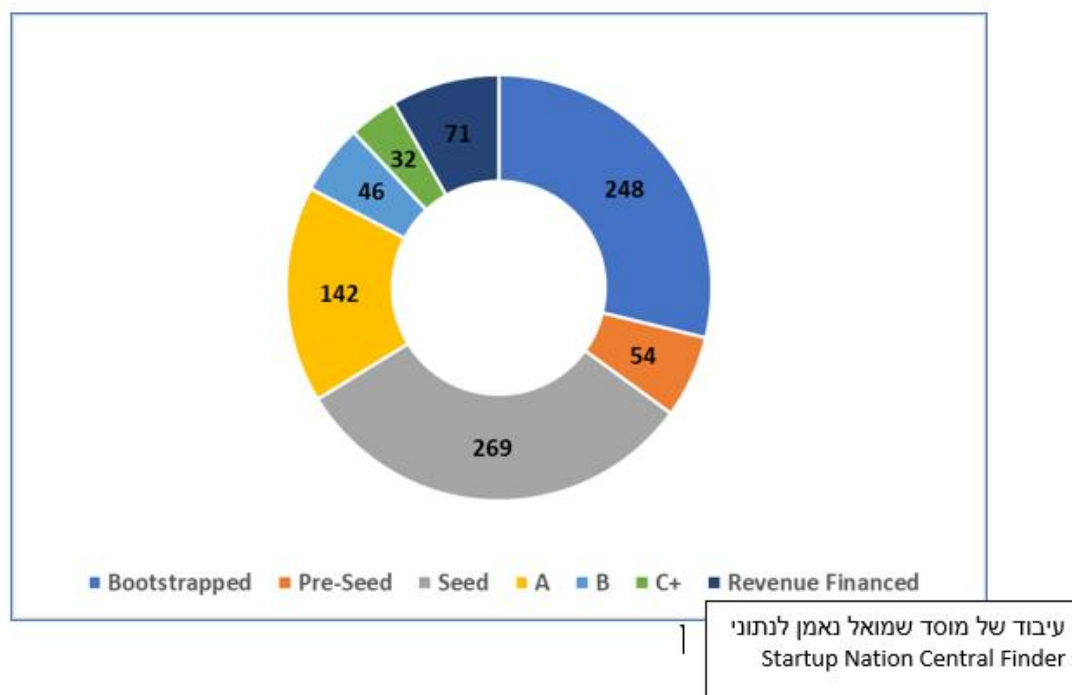
מעל 65% מחברות אלו הוקמו ב-5 השנים האחרונות (591 חברות). בשנת שיא – 2016, הוקמו 186 חברות. עשר חברות הוקמו בשנות התשעים, חברות שהנן וותיקות בתחום ומעסיקות ברובן מעל 200 עובדים – NICE, RADCOM, Essence, G-STAT, Mobileye ועוד. האיור הבא מתאר את מספר החברות שהוקמו בשנים 2008-2017:

איור 43: חברות בתחום הבינה המלאכותית לפי שנת הקמה



מטבע הדברים חלק גדול מהחברות נמצא בשלבים התחלתיים. האיורים הבאים מציגים את התפלגות החברות לפי-Funding Stage ולפי-Product Stage:

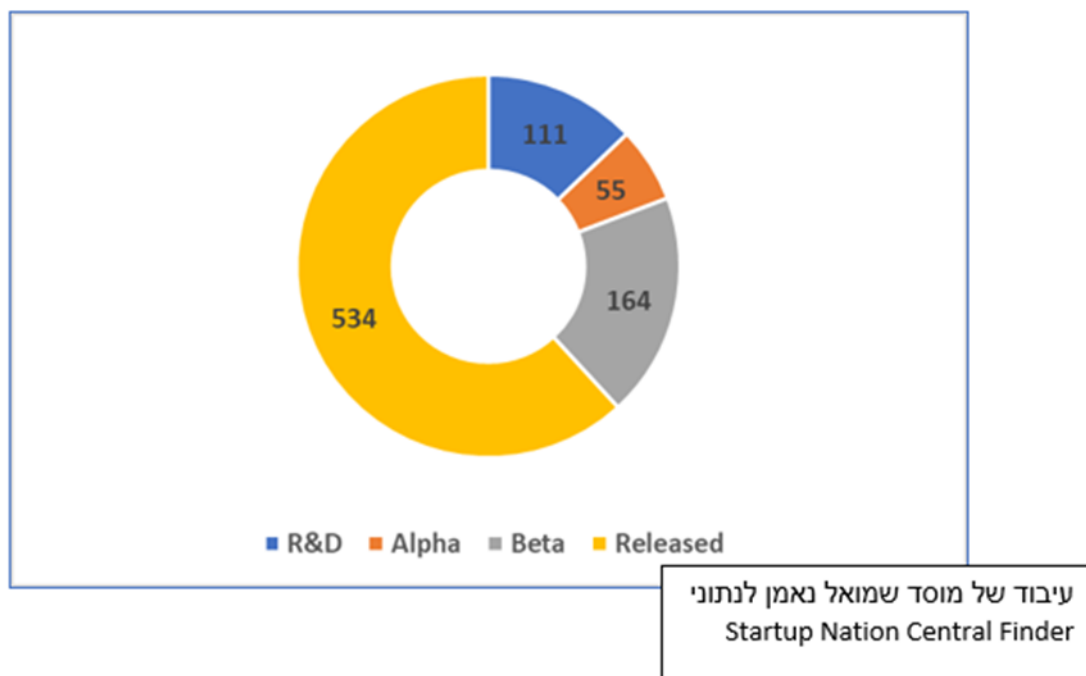
איור 44: חברות בתחום הבינה המלאכותית לפי Funding Stage



קרוב ל-64% מהחברות במאגר המידע נמצאות בשלב ה-Bootstrapped, Pre-seed או Seed. כ-25% מהחברות נמצאות בסבבי מימון (כ-16% בסבב A, כ-5% בסבב B וכ-4% בסבב C+), ובהן חברות מובילות

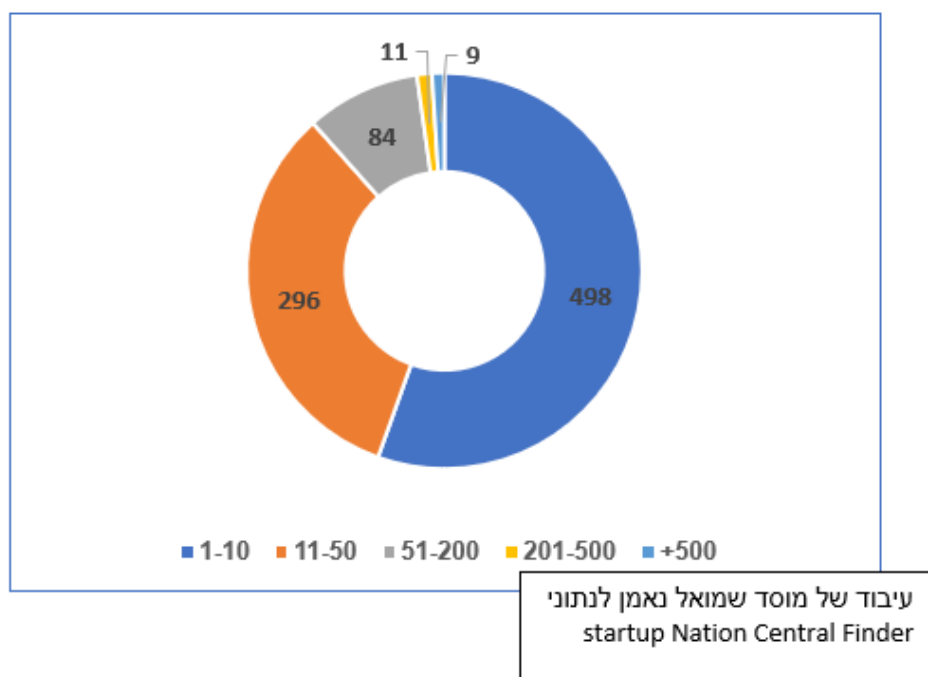
בתחום ה- Digital Health and Medical Technologies כמו EarlySense ו-Medasense Biometrics, בתחום ה- Fintech and eCommerce כמו mySupermarket ו-Lemonade, בתחום ה- Security and Safety Technologies כמו Cybereason, בתחום ה- Software Applications כמו Cortica ועוד.

איור 45: חברות בתחום ה-AI לפי Product Stage



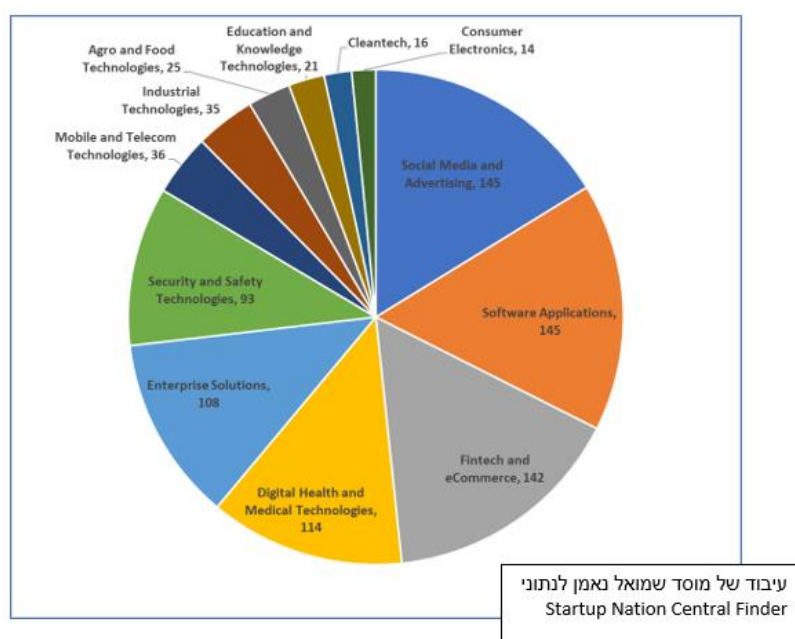
כ- 55% מהחברות מעסיקות עד 10 עובדים, וכ-33% מהן מעסיקות בין 11 ל-50 עובדים. האיור הבא מציג את התפלגות החברות לפי מספר עובדים:

איור 46: חברות בתחום הבינה המלאכותית לפי מספר עובדים:



חברות אלו פועלות בסקטורים מגוונים. הסקטורים המובילים במספר החברות הם Social Media and Advertising, Software Applications, Fintech and eCommerce, Digital Health and Medical Technologies, Enterprise Solutions, Security and Safety Technologies. האיור הבא מציג את התפלגות החברות לפי סקטורים:

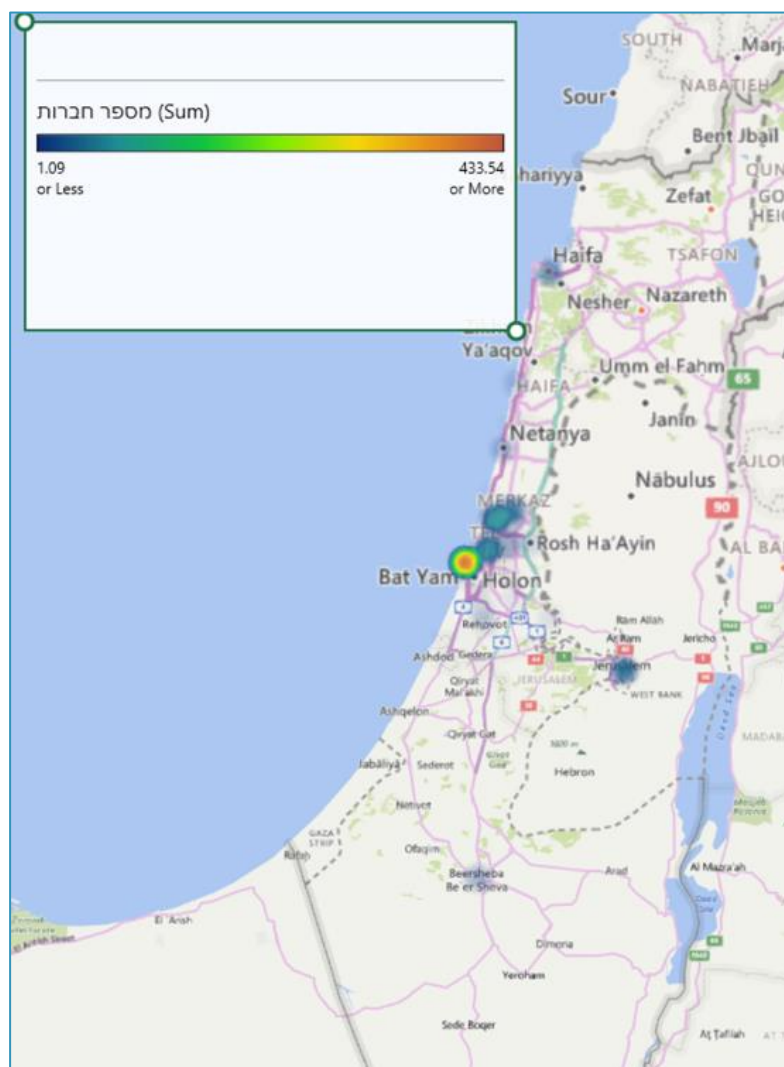
איור 47: חברות בתחום הבינה המלאכותית לפי סקטורים



רוב החברות מרוכזות באזור המרכז, כאשר 398 מהן ממוקמות בתוך תחומי העיר תל אביב-יפו. 45 חברות ממוקמות בירושלים ו-30 בחיפה. כמות החברות באזור הדרום והצפון נמוכה, כאשר רק כ-20 חברות ממוקמות

באזור באר שבע ואילו צפונה מחיפה כמעט ולא מורגשת פעילות החברות בתחום ה-AI. האיור הבא מציג את התפלגות החברות לפי מיקום גיאוגרפי:

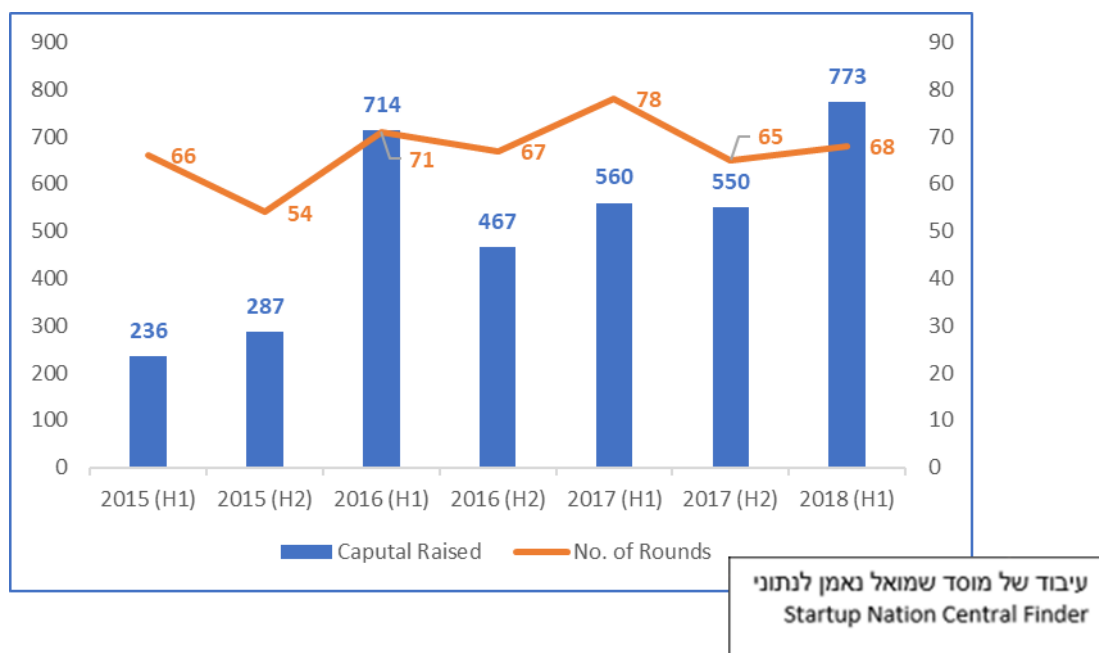
איור 48: חברות בתחום ה-AI לפי המיקום הגיאוגרפי



לפי ה-Startup Nation Central חלה עלייה ממוצעת של כ-32% בחציון בהון שגויס בתחום הבינה המלאכותית, החל מהחציון הראשון של שנת 2015 וכלה בחציון הראשון של שנת 2018. בחציון הראשון של שנת 2016 גויסו \$714M ב-78 סבבים. שיא זה נשבר בחציון הראשון של שנת 2018 עם גיוסים של \$773M ב-66 סבבי גיוס בלבד. איור 49 מציג את הגיוסים ומספר סבבי הגיוס מהמחצית הראשונה של שנת 2015 עד המחצית הראשונה של שנת 2018. הזינוק בגיוסי ההון מעיד על כך שהמונח בינה מלאכותית איננו עוד מילת 'באז'. (Korbet, 2018):⁷⁴

⁷⁴ Korbet, R. (2018). Start-Up Nation Central: Finder Insights Series Israeli High-Tech H1 2018 Report : A growing layer of maturing startups , raising bigger rounds.

איור 49: גיוסים (במיליוני \$) ומספר סבבי גיוסים לפי Startup Nation Central



נספח 5: מסלולים בתחומי הבינה המלכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה באקדמיה

מתודולוגיה:

המסלולים האקדמיים סווגו לפי שבע קטגוריות עיקריות.

1. מערכות מידע/מדעי הנתונים
2. בינה מלאכותית/ למידת מכונה/מע' נבונות/ מע' מבזרות
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

» 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 מבזר, 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 מבזרים 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.

» בינה מלאכותית / למידת מכונה / מע' נבונות / מע' מבזרות

הסיווג ניתן במידה והמסלול הוגדר כמגמה/ התמחות/ מקבץ/ הקבץ/ אשכול/ מסלול בלמידה ובינה מלאכותית/ מערכות מבזרות/ 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 בפקולטה למדעי המחשב, הנדסת חשמל וניהול.

» 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.

» 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.

» 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 מבזרות, 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.

» 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 לימוד הללו.

» מסלולים כלליים - קורסים בודדים

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

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

טבלה 22: קורסים ומסלולי לימוד באקדמיה (נכון לשנה"ל תשע"ח)

» אוניברסיטאות – תואר ראשון

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
טכניון	הנדסת תע"ן	הנדסת נתונים ומידע Data Science and Engineering	- מבוא להנדסת נתונים ומידע - מידע מבזר וסוכנים רציונליים - יסודות בינה מלאכותית ויישומיה - ניהול מידע מבזר - מערכות מידע מבזרות - למידה חישובית ואופטימיזציה מכוונת + קורסי בחירה מהנדסת מערכות מידע
תכנית הלימודים בהנדסת נתונים ומידע, בסיומה מוענק תואר ראשון, היא הראשונה מסוגה בארץ. זוהי תכנית דגל יוקרתית של הטכניון אשר נוסדה לאור ההתפתחות העולמית המטאורית בנושאים הקשורים לעבודה עם כמויות עצומות של מידע (Big Data), והביקוש העצום לאנשי מקצוע בתחום.			

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
טכניון	הנדסת תע"ן + מדמ"ח	הנדסת מערכות מידע	- מערכות אוטונומיות - סמינר במע' מידע והנדסת ידע - מערכות עיבוד מאורעות - ניהול מידע מבוזר - מערכות מידע שיתופיות - מודלים מתמטיים באחזור מידע מתקדם - תיכון מערכות זמן אמת - מערכות מידע מבזרות - ניהול וכריית תהליכים עיסקיים - למידה עמוקה, תאורייה ומעשה - למידה חישובית ואופטימיזציה מקוונת - עיבוד שפה טבעית
טכניון	מדמ"ח	קבוצת התמחות - למידה ובינה מלאכותית	- מבוא לעיבוד שפות טבעיות - בייסאניות רשתות - מבוא לבינה מלאכותית - מבוא למערכות לומדות - למידה חישובית - יסודות אלגוריתמיים למידע מאסיבי - מבוא לרשתות עצביות + קורסי נוספים
טכניון	מדמ"ח	קבוצת התמחות - תקשורת ומערכות מבזרות	- ידע ומשחקים במערכות מבזרות - מבוא לרשתות מחשבים - תקשורת באינטרנט - הגנה במערכות מתוכנות - מבזרות מערכות - אלגוריתמים מבזרים א' - ניהול מידע ברשת האינטרנט - תכנות מקבילי ומבזר - מימוש מערכות מסדי נתונים - אלגוריתמים מבזרים ב'
טכניון	מדמ"ח	קבוצת התמחות - ראייה ורובוטיקה	- עיבוד תמונות דיגיטלי - ראייה חישובית גאומטרית - ראייה ממוחשבת - זיהוי ראייתי - מבוא לרובוטיקה - קורסים נוספים +
טכניון	מדמ"ח + ביולוגיה	מדעי המחשב בדגש על ביו-אינפורמטיקה	- מבוא לביו-אינפורמטיקה מ' - אלגוריתמים בביולוגיה חישובית - פרויקט בביו-אינפורמטיקה
האחריות האקדמית ללימודים במסלול זה משותפת לפקולטה למדעי המחשב ולפקולטה לביולוגיה. מטרת המסלול היא להכשיר בוגרים שיוכלו להשתלב ולהוביל תעשיות ביו-אינפורמטיקה, וכן בוגרים שיוכלו להמשיך ללימודים מתקדמים המשלבים הבנה במדעי החיים ובמדעי המחשב.			

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
טכניון	מדמ"ח	קורסי בחירה	- פרויקט בבינה מלאכותית ה' - פרויקט בניתוח ועיבוד תמונות - ידע ומשחקים במערכות מבוזרות - מבוא לעיבוד שפות טבעיות - פרויקט בעיבוד שפות טבעיות - עיבוד תמונות ואותות במחשב - האינטרנט של הדברים – טכנולוגיות ויישומים - פרויקט באינטרנט של הדברים - מבוא לממשקי אדם-מחשב - נושאים מתקדמים באלגוריתמים מבוזרים - פרויקט במערכות נבונות - פרויקט במערכות לומדות - נושאים מתקדמים ברשתות עצביות - סמינר ברשתות עצביות - ייצוגים דלילים ויתירים ויישומיהם בעיבוד אותות ותמונות
טכניון	הנדסת חשמל	במסלול להנדסת מחשבים - קבוצת מערכות נבונות	- מבוא לבינה מלאכותית - מבוא לרובוטיקה - למידה ותכנון במערכות דינמיות מערכות לומדות - מבוא למערכות לומדות - אלגוריתמים ויישומים בראיה ממוחשבת - ראיה ממוחשבת - מבוא לרשתות עצביות - ייצוגים דלילים ויתירים ויישומיהם בעיבוד אותות ותמונות + קורסים נוספים
טכניון	הנדסת חשמל	קבוצת התמחות - למידה ממוחשבת	- מערכות לומדות - למידה ותכנון במערכות דינמיות - עיבוד וניתוח מידע - שיטות חישוביות באופטימיזציה - תורת האינפורמציה - רשתות עצביות ביולוגיות - עיבוד וניתוח תמונות - מבוא לבינה מלאכותית + קורסים נוספים
טכניון	הנדסת חשמל	קבוצת התמחות - בקרה ורובוטיקה	- מבוא למערכות הספק ורשת חכמה - למידה ותכנון במערכות דינמיות - מערכות לומדות - מבוא לרובוטיקה - בקרה אוטומטית של כלי טיס + קורסים נוספים
טכניון	הנדסת חשמל	קורסים בלתי משוייכים	- הנדסת מערכות תוכנה מבוזרות - מערכות מבוזרות: עקרונות - תכנות פונקציונלי מבוזר
טכניון	הנדסה אזרחית וסביבתית	שרשרת - בקרה, אוטומציה ורובוטיקה בתשתיות	מבוא לרובוטיקה
השרשרת נועדה להקנות לסטודנטים ידע משלים בנושאים הקשורים למערכות מכניות עתירות חיישנים, בקרה ואוטומציה בתשתיות ובסביבה הפתוחה.			

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
טכניון	הנדסת אווירונאוטיקה וחלל	אשכול הנחיה, ניווט, בקרה, ומערכות אוטונומיות	מערכות חלל מבוזרות
טכניון	הנדסת מכונות	מגמת רבדים - רובוטיקה, בקרה, מערכות דינמיות, מכטרוניקה	- מבוא לרובוטיקה - מעבדה ברובוטיקה - קינמטיקה, דינמיקה ובקרה של רובוטים - ניווט רובוטים + קורסים נוספים
אוניברסיטת ת"א	מדעי מחשב	Yandex Initiative for Machine Learning	
		The Yandex Initiative for Machine Learning will introduce a cluster of courses within the framework of the BSc Program in Computer Science. Courses will focus on machine learning, deep learning, natural language processing, computer vision and robotics.	
אוניברסיטת ת"א	מדעי מחשב	תכנית לימודים במדעי המחשב ובביו- אינפורמטיקה	קורסי בחירה ממדעי המחשב
אוניברסיטת ת"א	מדעי מחשב פסיכולוגיה	תכנית לימודים בפסיכולוגיה ובמדעי המחשב עם הדגש במדעי המוח	קורסי בחירה ממדעי המחשב
אוניברסיטת ת"א	מדעי מחשב	התמקדות במדעי המידע - Data Science	- מבוא ללמידה חישובית - ביג דאטה - כריית מידע - עיבוד שפות טבעיות
		בתכנית הלימודים של ביה"ס למדעי המחשב במסגרת קורסי הבחירה, קיימים קורסים המאפשרים התמקדות בתחום מדעי המידע.	
אוניברסיטת ת"א	מדעי מחשב	קורסי בחירה	- מבוא לרשתות נוירונים - למידה חישובית: מודלים גרפיים הסתברותיים - מבוא לבנינה מלאכותית - רשתות עצבים מלאכותיות - ראיה ממוחשבת - נושאים מתקדמים בראיה חישובית - למידה ממוחשבת מחיזוקים - סדנה אלגוריתמים מבוססי למידה חישובית בבילוגיה מבנית ופיתוח תרופות - שיטות מתקדמות בלמידה חישובית - סמינר קריאה בלמידה חישובית - נושאים מתקדמים בלמידה חישובית ובתורת המשחקים החישובית - נושאים מתקדמים בלמידה חישובית - סדנה באלגוריתמים לתכנון תנועה לרובוטים
אוניברסיטת ת"א	מתמטיקה	תכנית לימודים דו-חוגית במתמטיקה ובמדעי המחשב	קורסי בחירה במדעי המחשב

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
אוניברסיטת ת"א	הנדסת תעשייה וניהול	מקבץ מערכות מידע	- כריית ידע - תכן והערכה של ממשק אדם-מחשב - אחזור מידע ומערכות המלצה
החל מהשנה השלישית על הסטודנט לבחור קורסים ממקבצי הבחירה להעמקת הידע בתחומים מסוימים.			
אוניברסיטת ת"א	הנדסה מכנית	מסלול התמחות במכטרוניקה / מערכות אוטונומיות	- בינה חישובית - מבוא לרובוטיקה - מעבדה ברובוטיקה ובקרה של מערכות
רובוטיקה, ובמובן רחב יותר המכטרוניקה, עוסקת בהפעלה אינטליגנטית, מבוססת מחשב, של התקנים ומערכות מכניות, תוך שימוש בחיישנים ומפעילים. הידע הנדרש בתחום מקיף נושאים מתחומים רבים כולל: מכניקה, בקרה, אינטליגנציה מלאכותית, מחשבים ואלקטרוניקה. בתחום המערכות האוטונומיות מושם דגש על לימוד שיטות מתקדמות של אינטליגנציה מלאכותית שפותחו בהשראה ממערכות ביולוגיות.			
אוניברסיטת ת"א	הנדסה ביו- רפואית	תואר כפול בהנדסה ביו- רפואית ובביולוגיה עם הדגש במדעי המוח	- למידה – התנייה קלאסית ואופרנטית - מבוא לביו-אינפורמטיקה
אוניברסיטת ת"א	בית הספר לניהול	הקבץ "ניהול יזמות וחדשנות"	מידע מפורט אודות הקורסים בהקבץ יפורסם בהמשך.
ההקבץ החדש יעניק ידע אקדמי ומעשי בתחום היזמות, עם דגש לחשיבה חדשנית ויזמות בתחומי הביוטק, הפינטק ו- Internet of Things. לימודי הליבה בחוג מעניקים רקע חשוב בנושאים הקשורים לעולם היזמות: אסטרטגיה, שיווק, חשבונאות וכלכלה, ועוד.			
ההקבץ יפתח בשנה"ל תשע"ט			
אוניברסיטת ת"א		הקבץ "ניהול נתוני עתק Big Data ובינה עסקית	- מבוא לטכנולוגיות מידע - טיפול יישומי בנתונים - מבוא לאנליטיקה עסקית - טכנולוגיות ביג דאטה - ניסויים עסקיים דיגיטליים ומקוונים - כריית מידע עסקי - סמינר ייחודי - אנליטיקה עסקית
במסגרת לימודי ההקבץ, רוכשים הסטודנטים, בנוסף לידע בתחום העסקי והניהולי, ידע מקיף בשימוש במתודולוגיות וכלי Data Science לצורך הפיכת הנתונים הגולמיים למידע שימושי שיכול לשמש לצורך קבלת החלטות עסקיות. ברשומת הלימודים יצוין כי התלימד סיים בהצלחה את לימודי ההקבץ ב"ניהול נתוני עתק (Big Data) ובינה עסקית			
אוניברסיטת ת"א	בית ספר למדעי המתמטיקה	החוג לסטטיסטיקה - מגמת מדעי מידע	- מבוא למדעי המידע - מבוא ללמידה חישובית - מערכות בסיסי נתונים

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
מגמה חדשה במסגרת התכנית החד-חוגית בסטטיסטיקה וחקר ביצועים. המגמה החדשה תקנה לתלמיד השכלה בסיסית וכלים הדרושים לניתוח נתונים מורכבים ורב ממדיים, התמודדות עם עושר ומגוון האינפורמציה שמציג "עידן המידה" המודרני, וזאת בדגש על האספקטים הסטטיסטיים של התחום. לשם כך, התוכנית משלבת יסודות מעמיקים במתמטיקה, סטטיסטיקה וחקר ביצועים, אך כוללת גם קורסים ממדעי המחשב שמקנים כלים חישוביים ואלגוריתמים, ומספר קורסים ייחודיים לתוכנית שמשלבים בין תחומי הידע לנושאים בסטטיסטיקה מודרנית יישומית.			
אוניברסיטת ת"א	חינוך סוציולוגיה מתמטיקה לימודי ביטחון גיאוגרפיה	קורסים בודדים מפקולטות שונות	- Big Data in Education חינוך - סוציולוגיה ואנתרופולוגיה - ביג דאטה: בין פרקטיקה לביקורת - בית ספר למדעי המתמטיקה - יסודות מתמטיים ללמידת מכונה - מדעי החברה (לימודי ביטחון) - לוחמת סייבר ורובוטיקה - מדעים מדויקים (גיאוגרפיה וסביבת האדם) - מבוא לסביבת האדם: מרחב, מקום וסביבה
אוניברסיטת בן גוריון	מדעי המחשב	מדעי המחשב עם Big Data	- Big Data Analysis for Cyber Security - Correctness of Distributed Systems - Data Base Systems - Distributed System Programming: Cloud Computing and Map-Reduce - Machine Learning in Computer Vision - Topics in Blockchain
אוניברסיטת בן גוריון	לימודי הנדסת מערכות תוכנה ומידע	מגמת מערכות מידע	- יישומי בינה מלאכותית - מנשקי אדם-מחשב - מדעי הנתונים ובינה עסקית - תכנון וקבלת החלטות אוטומטיות נבונות מכונות - תכנון ופיתוח אפליקציות מבוססי ענן - חיפוש בבינה מלאכותית - מדעי הנתונים ו-big data בתעשייה - טקסטים כריית - מכריית נתונים לאלגוריתם - היבטים מעשיים בכריית תוכן אינטרנטי לאפליקציות עסקיות
אוניברסיטת בן גוריון	לימודי הנדסת מערכות תוכנה ומידע	מגמת לימודי בינה מלאכותית (AI - Artificial Intelligence)	- יישומי בינה מלאכותית - מנשקי אדם-מחשב - מדעי הנתונים ובינה עסקית - כריית נתונים ומחסני נתונים - אחזור מידע וספריות דיגיטליות - מכונות נבונות - ניתוח רשתות חברתיות - יישום שיטות לניתוח נתונים - יישומי בינה מלאכותית באיתור תקלות - תיאוריות ויישומים של שיתוף פעולה בין מכונות - שיטות חיפוש בבינה מלאכותית - תכנון והיסק תלוי זמן - אנליטיקה של נתונים בזמן
במחלקה יש עושר רב של ידע בתחומי ה-AI השונים, והמגמה המוצעת לסטודנטים תספק השכלה נרחבת בתחומים שונים הרלוונטיים ל-AI. פרויקט הגמר ההנדסי בשנה ד', יתבצע בנושא הקשור לתחום ויעניק להם ניסיון מעשי של התמודדות בתחום. חלק מהפרויקטים יבוצעו כחלק מפרויקט מחקר בשיתוף פעולה הדוק עם התעשייה הרלוונטית. מסיימי המגמה יוכלו להשתלב במגוון עבודות בתעשייה, כמו גם להמשיך לתארים מתקדמים ב-AI.			

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
אוניברסיטת בן גוריון	לימודי הנדסת מערכות תוכנה ומידע	לימודי בינה עסקית וכריית נתונים	- מנשקי אדם-מחשב - מדעי הנתונים ובינה עסקית - מימוש מערכות בסיסי נתונים - כריית נתונים ומחסני נתונים - בסיסי נתונים - יישומי בינה מלאכותית - נושאים מתקדמים בבסיסי נתונים - אחזור מידע וספריות דיגיטליות - ניתוח וקבלת החלטות במערכות מידע - מדעי הנתונים ו big data בתעשייה - כריית טקסט וכריית תוכן - שיטות מתקדמות בכריית נתונים - יישום אלגוריתמים לומדים במערכות מידע - מכונות נבונות - יישום שיטות לניתוח נתונים - מכריית נתונים לאלגוריתם - יישומי בינה מלאכותית באיתור תקלות - ניתוח רשתות מורכבות - אנליטיקה של נתונים בזמן
אוניברסיטת בן גוריון	לימודי הנדסת מערכות תוכנה ומידע	מגמה ללימודי אבטחת מידע ולוחמת סייבר לתואר ראשון - cyber security	- יישומי בינה מלאכותית - מנשקי אדם-מחשב - מדעי הנתונים ובינה עסקית - כריית נתונים ומחסני נתונים - אחזור מידע - מבונות נבונות - מחשוב קוגניטיבי
אוניברסיטת בן גוריון	הנדסת מערכות תקשורת		- סטטיסטיקה וכריית נתונים לתקשורת - אלגוריתמים מבוזרים - מבוא לתורת המידע - הסקה סטטיסטית וכריית נתונים - נושאים מתקדמים בכריית נתונים - בינה מלאכותית במערכות תקשורת
אוניברסיטת בן גוריון	הנדסת תעשייה וניהול	התמחות במערכות מידע	- מידע טכנולוגיות תשתית - אסטרטגיה וניהול של מערכות מידע - מערכות בינה עסקית - לימוד מכונה - בניית מערכות ממוחשבות מבוססות אינטרנט - ניהול ידע - אינטרנט של הדברים בתעשייה - אירועים במדעי הנתונים - יסודות ממשק אדם-מחשב - למידה ורשתות ניורונים - תחקור מאגרי נתונים גדולים Big Data - מבוא לרובוטיקה
אוניברסיטת בן גוריון	הנדסת תוכנה		- עיצוב מנשקי אדם מכונה - בינה מלאכותית

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
התכנית להנדסת תוכנה משותפת למחלקה למדעי המחשב ולמחלקה להנדסת מערכות מידע ומופיעה באופן זהה בשנתון של הפקולטה למדעי הטבע והפקולטה למדעי ההנדסה.			
אוניברסיטת בן גוריון	המחלקה לפסיכולוגיה	דגש על מדעי הנתונים בפסיכולוגיה (Psychological Data Science)	- אלגוריתמים אבולוציוניים וחיים מלאכותיים - מבוא לראייה חישובית וביוולוגית - בינה מלאכותית: מבוא לתכנון אוטומטי - מבוא לאילוצים מבוזרים - אלגוריתמים מבוזרים - כריית נתונים פיננסיים - תכנון וקבלת החלטות אוטומטיות - תכנון ופיתוח אפליקציות מבוססי ענן - חיפוש בבינה מלאכותית - למידת מכונה וזיהוי תבניות
מסלול "מדעי הנתונים בפסיכולוגיה" מהווה הדגש עבור סטודנטים מחקרניים המתעניינים ליישם בעבודת המחקר שלהם כלים מעולם זה. ההרשמה להדגש זה תתבצע דרך אחת המגמות המחקריות ("פסיכולוגיה ניסויית: קוגניציה ומוח" או "פסיכולוגיה חברתית"). הסטודנטים ילמדו את קורסי הליבה של המגמה אותה בחרו, בנוסף לקורסים ייעודיים בנושא מדעי הנתונים בפסיכולוגיה.			
אוניברסיטת בר אילן	הפקולטה להנדסה	הנדסת מחשבים - מסלול מערכות מחשב	מבוא ללמידת מכונה
המסלול מקנה לסטודנטים הבנה עמוקה באופן הפעולה של מערכות מחשבים מורכבות ומשלב בין היבטים שונים של תכן חומרה, תוכנה ואלגוריתמיקה.			
אוניברסיטת בר אילן	הפקולטה להנדסה	הנדסת מחשבים - מסלול אבטחת סייבר	מבוא ללמידת מכונה
מטרת התכנית היא להכשיר מהנדסים בתחום אבטחת הסייבר על מנת לקדם את הטכנולוגיה, המחקר והפיתוח בתחום זה.			
אוניברסיטת בר אילן	הפקולטה להנדסה	הנדסת חשמל - מסלול עיבוד אותות	מבוא ללמידת מכונה
אוניברסיטת בר אילן	הפקולטה להנדסה	הנדסת חשמל - מסלול ביו- הנדסה	ביוולוגיה חישובית – ביו-אינפורמטיקה

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
אוניברסיטת בר אילן	מדעי המחשב		- למידת מכונה - בינה מלאכותית - עיבוד שפות טבעיות - מבוא לרובוטיקה - מבוא למערכת תבניות - סמינריון בבינה מלאכותית מבוזרת - מערכות מקביליות ומבזרות - הבנת טקסטים - שיטות אלגוריתמיות לפתרון בעיות רובוטיות - מבוא למערכות תבניות, חכמות וקוגניטיביות - יישומים במסדי נתונים - ראייה ממוחשבת - אבטחה של האינטרנט של הדברים - ניהול נתוני עתק ברשת
אוניברסיטת בר אילן	מדעי המחשב	מדעי המחשב ומדעי המוח דו-ראשי	- למידת מכונה - בינה מלאכותית - עיבוד שפות טבעיות - מבוא לרובוטיקה - מבוא למערכת תבניות
אוניברסיטת בר אילן	הפקולטה למדעי החיים	ביולוגיה חישובית – ביו- אינפורמטיקה	- ביולוגיה חישובית - אלגוריתמים לביולוגיה חישובית - מסדי נתונים
במסגרת המגמה לומדים הסטודנטים על פי תכנית המשלבת את הקורסים היסודיים במדעי החיים, ובמדעי המחשב וכן קורסים ייעודיים בביולוגיה חישובית שפותחו לצורך התוכנית.			
אוניברסיטת בר אילן	המחלקה למדע המידע	המגמה בלימודי טכנולוגיות אינטרנט ומידע	- אינטראקציית אדם-מחשב - ביג דאטה - ביג דאטה 2 - האדם הדיגיטלי - סמינריון - Machine learning - תרגיל Machine learning
מגמה זו מתמקדת בהיבטים החדשים של טכנולוגיות המידע באינטרנט. במגמה זו מוכשרים הסטודנטים במיומנויות הבסיסיות של מדעי המידע- ארגון, אחזור ואיתור מידע. בנוסף לכך, ישנה התמקדות מיוחדת בטכנולוגיות מידע בכלל ובטכנולוגיות אינטרנט בפרט. הבוגרים יכולים להמשיך ללימודי תואר שני בהיבטים המחקריים של התחום. המחלקה למדע המידע מציעה תואר שני במגמות: ניהול מידע וידע, טכנולוגיות מידע ומדעי הרוח הדיגיטליים.			
האוניברסיטה העברית	ביה"ס להנדסה ולמדעי המחשב	הנדסת חשמל ומחשבים עם התמחות בהנדסת מחשבים -אשכול מערכות נבונות ומדע המידע	- מבוא למערכות לומדות - מבוא לבינה מלאכותית - מבוא לממשק אדם מחשב - יסודות מתמטיים בבינה מלאכותית - מעבדה במערכות נבונות - קורס מעשי מתקדם בלמידה חישובית - חישוב ברשתות חברתיות - עיבוד שפה טבעית - אחזור מידע באינטרנט - אלגוריתמים בביולוגיה חישובית - מבוא לרשתות עצביות - שיטות הסתברותיות בבינה מלאכותית

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
האוניברסיטה העברית	ביה"ס להנדסה ולמדעי המחשב	הנדסת חשמל ומחשבים עם התמחות בהנדסת מחשבים - אשכול מערכות ראיה וגרפיקה	- ראייה ממוחשבת - מבוא לממשק אדם מחשב - מבוא למערכות לומדות - ראיה אנושית: גישה חישובית - מבוא לרשתות עצביות
האוניברסיטה העברית	ביה"ס להנדסה ולמדעי המחשב	הנדסת חשמל ומחשבים עם התמחות בהנדסת מחשבים - אשכול מערכות ואינטרקציה	- מעבדה במערכות נבונות - מחט בערימת דאטה: מבוא למדע המידע
האוניברסיטה העברית	ביה"ס להנדסה ולמדעי המחשב	מדעי המחשב וביוולוגיה חישובית	- מבוא למערכות לומדות - מבוא לבינה מלאכותית - מחט בערימת דאטה: מבוא למדע המידע - שיטות הסתברותיות בבינה מלאכותית - מבוא לממשק אדם מחשב - מעבדה בביוולוגיה חישובית
האוניברסיטה העברית	ביה"ס להנדסה ולמדעי המחשב	מדעי המחשב עם התמחות בחישוביות עצבית	- מבוא לבינה מלאכותית - מבוא למערכות לומדות - מבוא לעיבוד מידע ולמידה - ראיה אנושית, גישה חישובית - חישוביות וקוגניציה
האוניברסיטה העברית	ביה"ס להנדסה ולמדעי המחשב	מדעי המחשב	- אלגוריתמים מבוזרים - מבוא למערכות לומדות - מבוא לבינה מלאכותית - מבוא לממשק אדם מחשב - יסודות מתמטיים בבינה מלאכותית - מעבדה במערכות נבונות - קורס מעשי מתקדם בלמידה חישובית - עיבוד שפה טבעית - אחזור מידע באינטרנט - אלגוריתמים בביוולוגיה חישובית - מבוא לרשתות עצביות - שיטות הסתברותיות בבינה מלאכותית - ראייה ממוחשבת - ראיה אנושית: גישה חישובית - מחט בערימת דאטה: מבוא למדע המידע - עבוד תמונות רפואיות רובוטיקה רפואית וניתוחים מונחי מחשב - סמינריון שיטת צוואר הבקבוק של המידע: יסודות מתמטיים ושימושים ללמידה עמוקה - סמינר עיבוד שפה טבעית וכריית מידע - מעבדה במדע המידע - מערכות מבוזרות, רשתות, שימושים של למידה חישובית - מעבדה
האוניברסיטה העברית	הפקולטה למדעי הרוח	מדעי הקוגניציה	חישוב ומשמעות
האוניברסיטה העברית	הפקולטה למדעי הרוח	בלשנות	מבוא לבלשנות חישובית

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
האוניברסיטה העברית	ביה"ס למנהל העסקים	מנהל עסקים	- רגשות משקיעים וניתוח טקסט - למידת מכונה - מבוא למדע המידע - סמינריון במדע המידע - טכנולוגיה ועסקים
האוניברסיטה העברית	ביה"ס למדעי הרפואה	מדעים ביו-רפואיים	מדעי המוח הקליניים: מבט לעתיד
האוניברסיטה העברית	ביה"ס למדעי הרפואה	בריאות הציבור ורפואה קהילתית	נושאים מתקדמים בניתוח נתונים ברפואה ובריאות הציבור
האוניברסיטה העברית	הפקולטה למדעי החברה	לימודי תרבות-תכנית אישית	מהפכת ה-Big Data במבט ביקורתי
האוניברסיטה העברית	הפקולטה למדעי החברה	גיאוגרפיה	מבוא לביג דאטה (Big Data) גיא-מרחביים
אוניברסיטת חיפה	מערכות מידע		- מבוא לניהול למערכות מידע - סמינר בכריית טקסט - תכנות מונחה עצמים - מודלים חישוביים של תהליכים קוגניטיביים - מבוא לבינה מלאכותית - ניהול נתוני עתק - ממשקי אדם-מכונה - קורס מתקדם בממשקי אדם-מכונה - סמינר מתקדם בכריית נתונים
אוניברסיטת חיפה	מערכות מידע	מסלול דו חוגי עם "מדעי הקוגניציה"	- מבוא לניהול למערכות מידע - בינה עסקית - מודלים חישוביים של תהליכים קוגניטיביים - מבוא לבינה מלאכותית - ניהול נתוני עתק - ממשקי אדם-מכונה - קורס מתקדם בממשקי אדם-מכונה - סמינר מתקדם בכריית נתונים
אוניברסיטת חיפה	מערכות מידע	תואר ראשון המשלב לימודי BSc ומדעי הרוח הדיגיטליים	- מבוא לניהול למערכות מידע - מודלים חישוביים של תהליכים קוגניטיביים - מבוא לבינה מלאכותית - ניהול נתוני עתק - ממשקי אדם-מכונה - קורס מתקדם בממשקי אדם-מכונה - סמינר מתקדם בכריית נתונים
התכנית משלבת בין לימודים במדעי הרוח לבין לימודי החוג למערכות מידע תוך התמחות ייחודית בתחום מדעי הרוח הדיגיטליים. זו הזדמנות נדירה להיות חלוצים/ות בתחום חדש ומתפתח ואפשרות ייחודית להתעמק בהישגי רוח ותרבות אנושית - ויחד עם זה לבנות עתיד מקצועי וכלכלי מבטיח.			

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
אוניברסיטת חיפה	מערכות מידע	מסלול דו חוגי עם סטטיסטיקה בדגש על מדעי הנתונים	- מבוא לניהול למערכות מידע - בינה עסקית - ניתוח נתוני עתק - יצוג ידע ומערכות תומכות החלטה – סמינר - אחזור מידע - מבוא לבינה מלאכותית - ממשקי אדם מחשב
אוניברסיטת חיפה	מדעי המחשב	התמחות בלמידה ממוכנת	- למידה ממוכנת - מודלים גרפיים בלמידה ממוכנת - Big data - בינה מלאכותית - מסדי נתונים - תכנות מדעי - אחזור מידע - למידה עמוקה - מבוא לענן וביג דאטה - מעבדה בבינה מלאכותית - טכנולוגיות מחשוב קוגניטיבי - רובטיקה מתקדמת - מעבדה בעיבוד שפות טבעיות - למידת נתונים במערכות זמן אמת - לימוד ביג דאטה בענן - שטפי מידע מאסיביים - טכנולוגיות מחשוב קוגניטיבי - מערכות מבזרות
אוניברסיטת חיפה	מדעי המחשב	התמחות בבלשנות חישובית	- בלשנות חישובית - עיבוד שפות טבעיות - בינה מלאכותית - למידה ממוכנת - מעבדה בעיבוד שפות טבעיות - אחזור מידע - למידה עמוקה - מבוא לענן וביג דאטה - מעבדה בבינה מלאכותית - טכנולוגיות מחשוב קוגניטיבי - רובטיקה מתקדמת - מעבדה בעיבוד שפות טבעיות - למידת נתונים במערכות זמן אמת - לימוד ביג דאטה בענן - שטפי מידע מאסיביים - טכנולוגיות מחשוב קוגניטיבי

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
אוניברסיטת חיפה	מדעי המחשב	התמחות במערכות מידע גיאוגרפיות	- Big data - גיאומטריה חישובית - חישוב מסלולים קצרים בגרפים - למידה ממוכנת - עיבוד תמונה - תכנות מדעי - אחזור מידע - למידה עמוקה - לימוד ביג דאטה בענן - שטפי מידע מאסיביים - טכנולוגיות מחשוב קוגניטיבי - מבוא לענן וביג דאטה - מעבדה בבינה מלאכותית - טכנולוגיות מחשוב קוגניטיבי - רובטיקה מתקדמת - מעבדה בעיבוד שפות טבעיות - למידת נתונים במערכות זמן אמת
אוניברסיטת אריאל	הנדסת חשמל ואלקטרוניקה	מסלול התמחות - מחשבים	- ראייה ממוחשבת, עיבוד תמונה וצילום חישובי - מערכות לומדות
אוניברסיטת אריאל	הנדסת תעשייה וניהול		- מעבדה ברובטיקה - תיכנון מערכות רובוטיות - כריית נתונים - ממשק אדם רובוט - מבוא למערכות מרובות סוכנים - מבוא לבינה מלאכותית - רובוטים ניידים אוטונומיים
אוניברסיטת אריאל	ביולוגיה מולקולארית		מערכות מידע ויישומים בביו-אינפורמטיקה
אוניברסיטת אריאל	מדעי המחשב	מדעי המחשב ומתמטיקה - מסלול סייבר	- מסדי ענק (Big Data), חישוב בענן - ראייה ממוחשבת, עיבוד תמונה וצילום חישובי - למידה עמוקה ועיבוד שפות טבעיות
אוניברסיטת אריאל	הנדסת מכונות		רובטיקה
אוניברסיטה פתוחה	מדעי המחשב ומתמטיקה	מדעי המחשב	- מבוא לבינה מלאכותית - סמינר בבינה חישובית - סמינר בבינה מלאכותית - שפת פרולוג והיבטים לבינה מלאכותית - חישוביות ביולוגית - כריית מידע - סמינר בבינה חישובית - סמינר בביו-אינפורמטיקה - סמינר בבינה מלאכותית

» אוניברסיטאות – תואר שני

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
טכניון	הנדסת תע"ן	הנדסת ניהול מידע	
			מטרת התכנית להקנות יכולת מחקרית בסיסית בנושאים של טכנולוגיות מידע. במסגרת התכנית מתבצעים הן מחקרים המדגישים את הכיוון ההנדסי-טכנולוגי, או את הכיוון התאורטי ואלגוריתמי, והן כאלה המשלבים מחקר המקשר אל המשתמש האנושי, יכולותיו וצרכיו. תחומי מחקר פעילים בתכנית כוללים אחזור מידע, עיבוד שפה טבעית, אימות מערכות, בינה מלאכותית, הנדסת מערכות, מידול תפיסתי, מסדי נתונים, אלגוריתמים במערכות מבוזרות ובמערכות תקשורת. התכנית מיועדת לבעלי תואר ראשון בהנדסת מערכות מידע, מדעי המחשב, הנדסת תעשייה וניהול עם התמחות במערכות מידע, מתמטיקה שימושית ומקצועות מדעיים והנדסיים קרובים.
טכניון	מדמ"ח	מגיסטר למדעים במדעי המחשב	
			שטח התמחות: למידה חישובית, בלשנות חישובית, בינה מלאכותית, רשתות עצביות, ראייה ממוחשבת, רובוטיקה, ביו-אינפורמטיקה
טכניון	הנדסת חשמל	מגיסטר בהנדסת חשמל	- מערכות לומדות - למידה ותכנון במערכות דינאמיות - למידה ע"י חיזוקים ובקרה מסתגלת - רשתות עצביות ביולוגיות – חישוביות, עיבוד מידע ולמידה - למידה חישובית למעשה - נושאים מתקדמים במערכות, למידה ובקרה 1, 2, 3 - מעבדה בלמידה חישובית - למידה ותכנון במערכות דינאמיות
טכניון	הנדסת חשמל	עיבוד אותות, מבנה תמונות וראייה ממוחשבת	- ראייה ממוחשבת - מערכות דימות לראייה ממוחשבת - אלגוריתמים ויישומים בראייה ממוחשבת - מערכות לומדות - רשתות עצביות ביולוגיות – חישוביות, עיבוד מידע ולמידה - נושאים מתקדמים ברשתות עצביות - מעבדה בראייה, מבנה תמונות וראייה ממוחשבת
טכניון	מוסמכים	The Technion-Cornell Dual Master's Degrees in Connective Media	- טכנולוגיות של שפה אנושית NLP - מבוא למערכות מסדי נתונים - מערכות מידע גדולות ועיבוד אירועים - מערכות לומדות - מבוא לראייה ממוחשבת - ניצול מסדי נתונים בעולם הגדול - תכנון מקבילי ומבוזר

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
טכניון	מוסמכים	תכנית לימודים אינטרדיסציפלינרית למערכות אוטונומיות ורובוטיקה לתואר שני מדעי (.M.E) או במסלול ללא תזה לתואר מוסמך M.Sc. בהנדסה	- אלגוריתמים מבוזרים א' - מבוא לבניה מלאכותית - מבוא למערכות לומדה - ראיה חישובית גיאומטרית - ראייה ממוחשבת - מבוא לרובוטיקה - מבוא לרשתות עצביות - נושאים מתקדמים ברובוטיקה - מערכות לומדות - למידה ממוחשבת לבעיות מורכבות - ניווט הנעזר ראיה ממוחשבת - יסודות בניה מלאכותית ויישומיה - מערכות מבוזרות - פרויקט במערכות נבונות - בניה מלאכותית ומערכות אוטונומיות - בניה מלאכותית בסביבות מבוזרות ואי ודאיות - מערכות חלל מבוזרות
אוניברסיטת ת"א	מדעי מחשב	מסלול בביו-אינפורמטיקה במסגרת תואר מוסמך במדעי המחשב, במדעי החיים, או ברפואה	- כריית מידע - למידה חישובית – יסודות - רשתות עצבים מלאכותיות
אוניברסיטת ת"א	מדעי מחשב	"מוסמך אוניברסיטה" במדעי המחשב	- למידה חישובית: יסודות - חשוב מבוזר - למידה סטטיסטית בחישוביות עצבית - כריית מידע - עיבוד שפה טבעית ואחזור מידע - ראיה חישובית ולמידה עמוקה - מבוא לחישוב עצבי - מבוא ללמידה חישובית - אלגוריתמים בכריית מידע - רשתות עצבים מלאכותיות
אוניברסיטת ת"א	מתמטיקה	"מוסמך אוניברסיטה" במתמטיקה שימושית	יסודות מתמטיים ללמידה מכונה
אוניברסיטת ת"א	הנדסת חשמל	תכניות לימודים לתארים מתקדמים	- למידת מכונה סטטיסטית - ראיה ממוחשבת - רשתות עצביות מלאכותיות - נושאים מתקדמים בראיה ממוחשבת - שימושים של קודים עבור ביג דאטה ורשתות - סמינר בלמידה עמוקה - תורת הלמידה החישובית

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
אוניברסיטת ת"א	הנדסת תעשייה וניהול	"מוסמך אוניברסיטה בהנדסת תעשייה"	- למידת מכונה סטטיסטית - טכנולוגיות ומסדים לנתוני עתק Big Data - מבוא למדעי נתונים Data Science - כריית ידע מתקדם לנתונים מובנים ולא מובנים - אחזור מידע ומערכות המלצה - תכן והערכה של ממשק אדם-מחשב - שיטות מחקר באינטראקציית אדם מחשב - אינטראקציה עם מערכות אוטומטיות - אינטראקציית אדם-רובוט - סטטיסטיקה לעידן ה-Big Data - תורת הלמידה החישובית - גילוי ידע ורשתות נירונים
אוניברסיטת ת"א	הנדסה מכנית	מוסמך אוניברסיטה בהנדסה מכנית	- בינה חישובית - בקרת רובוטים אוטונומיים
אוניברסיטת ת"א	הנדסה ביו- רפואית	מוסמך אוניברסיטה בהנדסה ביו-רפואית	- ראייה ממוחשבת - יישומים ברפואה - נושאים מתקדמים בהנדסה ביו רפואית: רובוטיקה רפואית
אוניברסיטת ת"א	בית הספר לניהול	התמחות בניהול נתוני עתק ובינה עסקית - מנהל עסקים MBA	- מבוא ליישומי דאטה למנהל עסקים - נושאים מתקדמים בכריית מידע וגילוי ידע - מבוא לטכנולוגיות נתוני ענק - היבטים עסקיים של ניסויים דיגיטליים - כריית נתונים למנהל עסקים עם יישומים ב-R - גילוי ידע ורשתות נירונים - טיפול יישומי בנתוני אנליטיקה עסקית - מחקר ופיתוח בעידן הסייבר והדאטה
אוניברסיטת ת"א		מדעי הניהול M.Sc. - ניהול טכנולוגיה ומידע	- ניהול טכנולוגיה ומידע - נושאים מתקדמים בכריית מידע וגילוי ידע - מבוא ליישומי דאטה במנהל עסקים - מישק אדם מחשב - עסקים, נתונים ואנליטיקה
אוניברסיטת בן גוריון	מדעי המחשב	תואר שני במגמת מערכות נבונות ואוטונומיות	- סמינר מתקדם במערכות נבונות - מבוא לבינה מלאכותית - בינה מלאכותית: תכנון וקבלת החלטות - עיבוד שפה טבעית - למידת מכונה - ניווט רובוטים
אוניברסיטת בן גוריון	לימודי הנדסת מערכות תוכנה ומידע	תואר שני בהנדסת מערכות מידע	- נושאים נבחרים בבינה מלאכותית - תכנון וקבלת החלטות אוטומטיות - תורת המשחקים בבינה מלאכותית - תיאוריות ויישומים של שיתוף פעולה בין מכונות - כריית טקסט וכריית תוכן באינטרנט - כריית מידע במאגרי נתונים גדולים - שיטות חיפוש בבינה מלאכותית - נושאים נבחרים באינטראקציות אדם-מחשב - עיבוד שפה טבעית - שיטות מתקדמות בכריית נתונים ומחשני נתונים - מבוא ללמידה עמוקה

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
אוניברסיטת בן גוריון	לימודי הנדסת מערכות תוכנה ומידע	תואר שני בהנדסת מערכות מידע עם מיקוד בהנדסת נתונים Master of Science in ISE focusing on Data engineering	- שיטות מתקדמות בכריית נתונים ומחשני נתונים - כריית טקסט וכריית תוכן באינטרנט - יישום אלגוריתמים לומדים במערכות מידע - כריית מידע במאגרי נתונים גדולים - נושאים מתקדמים במערכות המלצה - רשתות מרוכבות - אנליטיקה של נתונים בזמן
לימודי מיקוד בהנדסת נתונים במסגרת תואר שני בהנדסת מערכות מידע מיועדות להכשיר חוקרים ואנשי מקצוע ברמת אנליטית גבוהה. המיקוד מיועד בעיקר לבוגרי תואר ראשון בהנדסת מערכות מידע, הנדסת תוכנה, מדעי המחשב, והנדסת תעשייה וניהול. לימודי המגמה כוללים כתיבת תזה מחקרית בתחום, כשמונה קורסי חובה ובחירה, מתוכם לפחות ששה קורסים בתחומי הנדסת נתונים.			
אוניברסיטת בן גוריון	הנדסת תעשייה וניהול	תואר שני מחקרי עם מיקוד במדעי הנתונים ואנליטיקה עסקית	- בינה ואנליטיקה עסקית - מכונות לומדות וכריית נתונים - מערכות רובוטיות אינטליגנטיות - למידה, ייצוג וראייה ממוחשבת - אינטליגנציה מלאכותית - מערכות אוטומציה נבונות - מערכות אדם מכונה - נושאים נבחרים במערכות לומדות
מיקוד מדעי הנתונים ואנליטיקה עסקית עוסק בניהול, ניתוח, והצגת נתונים במטרה לצבור ידע ותובנות על הארגון, סביבתו, תהליכי הניהוליים והתפעוליים, וגורמי השפעה על ביצועיו. לימודי המיקוד משלבים מגוון שיטות וטכנולוגיות מתחומי התמחות ועולמות תוכן רלוונטיים.			
אוניברסיטת בן גוריון	הנדסת תעשייה וניהול	תואר שני מחקרי בהתמחות הנדסת תעשייה – מגמת מערכות נבונות	- בינה ואנליטיקה עסקית - מכונות לומדות וכריית נתונים - מערכות רובוטיות אינטליגנטיות - למידה, ייצוג וראייה ממוחשבת - אינטליגנציה מלאכותית - מערכות אוטומציה נבונות - מערכות אדם מכונה - נושאים נבחרים במערכות לומדות
מגמת מערכות נבונות בהתמחות הנדסת תעשייה מכשירה חוקרים למחקר ולתפקידים ביצועיים בניתוח, פיתוח, עיצוב ובקרה של מערכות ייצור, תעבורה, ומידע נבונות, במערכות אינטרנט ובמתקנים חכמים עתידיים. מטרת ההתמחות היא להבין ולתכנן מערכות שמשמשות בבניה לממשק עם העולם, ולהביא לכך שמערכות בקרת מחשבים יהיו יותר אוטונומיות ויותר זמינות.			
אוניברסיטת בר אילן	הפקולטה להנדסה	הנדסת חשמל עיבוד מידע ומדעי הנתונים (M.Sc)	- מבוא ללמידת מכונה - למידת מכונה סטטיסטית - למידה עמוקה - חישוב מבוזר - ניתוח נתוני עתק - עיבוד שפות טבעיות - ראייה ממוחשבת - סמינר בנושאים מתקדמים בלמידת - מכונה ועיבוד מידע - סמינר יישומי ללמידת מכונה בעיבוד שפה ומידע
תכנית הלימודים לתואר שני בהנדסת חשמל-עיבוד מידע ומדעי הנתונים מיועדת לבוגרי תואר ראשון שסיימו בהצטיינות את לימודיהם בפקולטות להנדסה, מדעים מדויקים ומדעי החיים במוסד אקדמי מוכר. מגוון תחומי הידע והקורסים יאפשר לכל סטודנט להתמחות בתחום הקרוב לליבו.			

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
אוניברסיטת בר אילן	מדעי המחשב	תואר שני עם התמחות בבינה מלאכותית (כולל אחזור מידע ורובוטיקה)	- בינה מלאכותית - נושאים מתקדמים בבינה-מלאכותית - חיפוש בבינה מלאכותית - למידת מכונה - ביולוגיה חישובית - מבני נתונים מתקדמים - ניהול נתוני עתק ברשת - אחזור מידע - ראיה ממוחשבת - מערכות מבזרות - מבוא למערכות מרובות רובוטים - תכנון בבינה מלאכותית - מבוא למערכות תבוניות, חכמות וקוגניטיביות - כדורגל ורובוטיקה - עיבוד שפות טבעיות - נושאים מתקדמים במערכות מרובות רובוטים - מערכות מרובות סוכנים
אוניברסיטת בר אילן	מדעי המחשב	התכנית לתואר שני במדעי הנתונים (Data Science)	- תורת האינפורמציה - למידת מכונה - למידה מפוקחת ולא מפוקחת - שיטות מתקדמות בלמידה חישובית - ניהול נתוני עתק ברשת - סדנה במדעי הנתונים - אינפורמטיקה רפואית - כריית מידע רפואי - עיבוד שפות טבעיות - שיטות Deep Learning לטקסטים ורצפים - סמינר מתקדם בלמידת מכונה - סמינר ניהול נתוני עתק ברשת בעזרת ההמונים - רשתות עצבים ולימוד על-ידי מכונה - בינה מלאכותית
אוניברסיטת בר אילן	המחלקה למדע המידע	תואר שני במדע המידע במגמת מדעי הרוח הדיגיטליים	- מבוא למסדי נתונים - ביג דאטה - מדעי הרוח הדיגיטליים - Machine Learning
אוניברסיטת בר אילן	המחלקה למדע המידע	תואר שני במדע המידע במגמת טכנולוגיות מידע	- מבוא למסדי נתונים - ביג דאטה - Machine learning - מערכות לאחזור מידע
אוניברסיטת בר אילן	המחלקה למדע המידע	תואר שני במדע המידע במגמת טכנולוגיות מידע	- מבוא למסדי נתונים - ביג דאטה - Machine learning - מערכות לאחזור מידע

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
האוניברסיטה העברית	ביה"ס להנדסה ולמדעי המחשב	מדעי המחשב וביולוגיה חישובית - מוסמך מחקרי	
אוניברסיטת חיפה	מדעי המחשב	תואר שני במדעי המחשב	- רובטיקה מתקדמת - מעבדה בעיבוד שפות טבעיות - שטפי מידע מאסיביים - מעבדה בחישוב ענן - אחזור מידע - למידה עמוקה - מבוא לענן וביג דאטה - למידת נתונים במערכות זמן אמת
מכון וייצמן	מחלקה לביולוגיה	MSc/PhD in Neuroscience	- Advanced Topics In Computer Vision And Deep Learning - Introduction To Big Data Analysis And Machine Learning - Introduction To Computer Vision - Topics In Machine Learning
		the Brain Sciences Systems, Computational & Cognitive Neuroscience track puts strong emphasis on studies of systems neuroscience, the neural basis of behavior, perception and cognition, memory and learning, as well as theoretical neuroscience	
מכון וייצמן	מחלקה למתמטיקה שימושית ומדעי המחשב	Computer Science	- Advanced Topics In Computer Vision And Deep Learning - Introduction To Big Data Analysis And Machine Learning - Introduction To Computer Vision - Topics In Machine Learning - Basic Readings In Deep Learning - Geometry And Deep Learning - Topics In Deep Neural Networks
מכון וייצמן	מחלקה למתמטיקה שימושית ומדעי המחשב	Bio-informatics	- Deep Neural Networks: A Hands On Challenge - Topics In Machine Learning
אוניברסיטת אריאל	הנדסת חשמל ואלקטרוניקה	M.Sc	- ראייה ממוחשבת, עיבוד תמונה וצילום חישובי - מערכות לומדות
		המסלול מקנה לסטודנט ידע במספר רב של נושאים, כגון: תורת המידע, מערכות לומדות, תכנות ב Java ואינטרנט ומערכות משובצות ויישומים במתמטיקה בדידה. מבחינת התיזה, המסטרנט יבחר באחד ממסלולי המחקר הקיימים: יישומים במערכות לסיווג תבניות וזיהויין, מערכות לומדות, מערכות משובצות (VHDL), יישומים במתמטיקה בדידה ודחיסת נתונים.	
אוניברסיטת אריאל	הנדסת תעשייה וניהול		- IOT - בינה מלאכותית - מערכות אדם – מכונה - מערכות זיהוי ביומטרי - רובטיקה

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
אוניברסיטת אריאל	מדעי המחשב	מוסמך במדעים (M.Sc.) במתמטיקה שימושית ומדעי המחשב – התמחות במדעי המחשב	- ראייה ממוחשבת, עיבוד תמונה וצילום חישובי - למידה עמוקה ועיבוד שפות טבעיות
ההתמחות במדעי המחשב עם תזה וללא תזה, תחשוף את הסטודנטים למקצועות מגוונים, בינה מלאכותית, עיבוד מבוזר מקבילי, למידת מכונה, ביולוגיה חישובית, נושאים מתקדמים בסייבר ועוד. התוכנית תקנה לבוגריה ידע מעשי וייחודי תוך השתלבות בקבוצות מחקר מולטידיסציפלינריות בתחומים משיקים של פיסיקה וחשמל.			
אוניברסיטה פתוחה	מדעי המחשב ומתמטיקה	תואר שני במדעי מחשב	- אלגוריתמים מבוזרים לרשתות תקשורת - מבוא לעיבוד שפה טבעית - מבוא לראייה ממוחשבת - סמינר מחקר: מערכות בסיס-נתונים וקריית מידע - סמינר מחקר: נושאים בראייה ממוחשבת ובלמידה חישובית - מודלים חישוביים במדעי הקוגניציה

» מכללות – תואר ראשון

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
מכללת אורט בראודה	המחלקה להנדסת תכנה	הנדסת מערכות מידע B.Sc.	- קריית נתונים ומערכות לומדות - תכנות מקבילי ומבוזר וטכנולוגיית ענן - ממשק אדם מחשב - אחזור מידע - בינה מלאכותית
התכנית להנדסת מערכות מידע מכשירה לתחום זה מהנדסים מיומנים ברמה אקדמית ומקצועית גבוהה. התכנית ניתנת במשותף ע"י המחלקות להנדסת תכנה ולהנדסת תעשייה וניהול, והיא עדכנית ודינמית בהתאם למגמות המתפתחות בתעשייה ובאקדמיה.			
מכללת אורט בראודה	המחלקה להנדסת תכנה	הנדסת תוכנה B.Sc.	- קריית נתונים ומערכות לומדות - מסדי נתונים מבוזרים - ממשק אדם מחשב - סמינר במערכות לומדות (אנגלית) - מעבדה בכריית נתונים - סמינר מערכות לומדות - מסדי נתונים מבוזרים - מחשוב ענן - מעבדה בכריית נתונים
מכללת אורט בראודה	המחלקה להנדסת תעשייה וניהול	הנדסת תעשייה וניהול B.Sc. - אשכול מערכות מידע	- פיתוח ממשקי אדם-מחשב - קריית נתונים
תכנית הלימודים מקנה ידע רחב הן בתחומי ההנדסה והטכנולוגיה והן בתחומי מדעי החברה והניהול, במגוון תחומים.			

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
המרכז הבינתחומי הרצליה	בית ספר אפי ארזי למדעי מחשב	תואר ראשון (B.Sc.) במדעי המחשב	- למידה חישובית ממידע - טכניקת פיתוח במחקר אינטרקטיבית אדם – מחשב - מחשוב קוגניטיבי - מסדי נתונים וניתוח מידע רחב היקף - עיבוד תמונה בעידן הלמידה העמוקה - ראייה ממוחשבת - אחזור מידע וחיפוש ברשת - נושאים שימושיים בלמידה חישובית - מדע נתונים וסטטיסטיקה בעידן האינטרנט
המרכז הבינתחומי הרצליה	בית ספר אפי ארזי למדעי מחשב	לימודי תעודה במדעי המחשב	למידה חישובית ממידע
המרכז הבינתחומי הרצליה	בית ספר אריסון למנהל עסקים	B.A.	- מבוא לביג דאטה ו-analytics - מדע נתונים וסטטיסטיקה בעידן האינטרנט
המרכז הבינתחומי הרצליה	בית ספר סמי עופר לתקשורת	B.A.	- טכניקות אינטראקטיביות אדם-מחשב - מבוא למו"פ בתחום אינטראקטיביות אדם מחשב - מנגנונים של אינטראקציה בין-אישית אצל אנשים - ורובוטים חברתיים
מכללת סמי שמעון	הנדסת מכונות	מכטרוניקה	- מבוא לרובוטיקה א' - מעבדה לרובוטיקה - אוטומציה תעשייתית ורובוטיקה - מעבדת אוטומציה ורובוטיקה - ממשק אדם ומחשב ועיצוב אינטראקטיבי
מכללת סמי שמעון	הנדסת תוכנה		- מחסני נתונים - טכניקות מתקדמות באחזור מידע - יישומי כריית נתונים - מחשוב ענן - ממשק אדם-מחשב
מכללת סמי שמעון	הנדסת תעו"ן	מסלול מערכות מידע	- בסיסי נתונים - יסודות מבני נתונים - ממשק אדם מחשב - אחזור וסינון מידע - כריית נתונים
המכון הטכנולוגי חולון	פקולטה למדעים	מדעי המחשב	- למידת מכונה - ראיית מכונה - ראייה ממוחשבת רבת מבטים - NLP עבוד שפה טבעית בעזרת מחשב - רובוטיקה למדעי המחשב - בינה מלאכותית 1 - ממשקי אדם מחשב - כריית נתונים - כריית מידע וניתוח למידה

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
המכון הטכנולוגי חולון	בניהול טכנולוגיה	BSc בניהול טכנולוגיה	- מבני נתונים - למידה עמוקה - יישומי בינה מלאכותית בניהול - מודלים של בינה עסקית - ניתוח צברי נתונים גדולים - בטכנולוגיית ענן - מבוא לטכנולוגיית מרשתת הדברים (IoT) - מבוא לניהול מערכות אוטונומיות
המכון הטכנולוגי חולון	הנדסת חשמל	מערכות משובצות מחשב	ראייה ממוחשבת
המכון הטכנולוגי חולון	פקולטה למדעים	BSc במתמטיקה שימושית מולטימדיה	- ראיית מכונה - ראייה ממוחשבת רבת מבטים
אקדמית ת"א יפו	בית הספר למדעי המחשב	מדעי המחשב	- ביג דאטה ברפואה - אנליזה של ביג דאטה - IOT - Data Mining - אלגוריתמים בבילוגיה מולקולרית
	בית הספר לניהול וכלכלה	החוג לתואר ראשון במערכות מידע ניהול וכלכלה - אשכול מערכות מידע ומדעי המחשב	- מנשקי אדם מחשב למערכות מידע - כריית מידע - אחזור מידע - מבוא לטכנולוגיות מידע ולמידה - מחשוב ענן - Big Data
אפקה	הנדסת תעשייה וניהול	מסלול התמחות מערכות מידע	- ארגונומיה: מערכות אדם מכונה - בינה עסקית - ממשקי אדם מחשב - כריית מידע
אפקה	הנדסת תוכנה	התמחות טכנולוגיות תוכנה ומידע	- בינה מלאכותית - מבוא לראייה ממוחשבת - למידה חישובית - ממשקי אדם מחשב - רשתות נוירונים ולמידה עמוקה - מערכות בסיסי נתונים מבוזרות - ניתוח נתוני עתק
המרכז האקדמי לב	פקולטה להנדסה ולמדעי המחשב	החוג לביו-אינפורמטיקה	בסיסי נתונים בביו-אינפורמטיקה

מוסד אקדמי	פקולטה	מסלול	קורסים
המרכז האקדמי לב	פקולטה להנדסה ולמדעי המחשב	החוג להנדסת תעשייה וניהול - התמחות במערכות מידע	- מבוא למערכות מידע - בסיסי נתונים - מבוא לבינה מלאכותית BI - ניתוח מערכות מידע ב' - מסחר אלקטרוני ובסיסי נתונים באינטרנט - ארגון קבצים ומערכות הפעלה - כריית מידע
המרכז האקדמי לב	פקולטה להנדסה ולמדעי המחשב	החוג למדעי המחשב - מסלול בינה מלאכותית ולמידת מכונה	
הנושא מכיל קורסים בנושאי כריית נתונים, רקע תכנותי, וכלים מתאימים - למידת מכונה, בינה מלאכותית ויישומה וכן העמקת הרקע המתמטי			
מכללת רופין	הנדסת תעשייה וניהול	אשכול מערכות מידע	- מבוא לטכנולוגיות מידע - ניתוח ועיצוב מערכות מידע - ניהול מסדי נתונים - פיתוח מערכות מידע אינטרנטיות-צד לקוח - מבני נתונים ואלגוריתמים - תקשורת נתונים ואבטחת מידע - Data Big / יזמות און ליין - מערכות בינה עסקית (BI) - פיתוח מערכות מידע אינטרנטיות-צד שרת
מכללת רופין	הנדסת תעשייה וניהול	אשכול עיבוד אות ותמונה	- מעבדה מתקדמת בעיבוד אות ותמונה - עיבוד וניתוח תמונות - עקרונות עיבוד דיבור - מבוא לראייה ממוחשבת
בהתמחות לומדים הסטודנטים כיצד להשתמש בשיטות ספרתיות כדי לפענח את המידע, לנתח אותו, לשפרו, לקדד אותו, להציגו ואף לשדרו.			
מכללת רופין	מנהל עסקים	מערכות מידע	- מסדי נתונים - תכנות מוכוון עצמים ותכנות - פיתוח מערכות מידע מבזרות - בצד הלקוח - מסדי נתונים ב' - ניתוח ועיצוב מערכות מידע
מטרת הלימודים היא לפתח אצל הבוגרים תשתית אקדמית ויכולות למידה לתארים מתקדמים (MBA).			
מכללת עמק יזרעאל	מערכות מידע	המסלול לבינה עסקית	- מסדי נתונים - מעבדה באיסוף מידע - סדנה בניתוח מערכות - בינה עסקית - כריית מידע ולמידה ממוחשבת - Big Data - למידה חישובית - מעבדה בניתוח מידע - IOT
נועד להכשיר אנשי מקצוע שיכולו לפתח וליישם מערכות המנתחות נתונים. במסגרת הקורסים הייעודיים לומדים הסטודנטים: כלים לעיבוד Big Data, כריית מידע, למידה חישובית, Internet Of Things והסקת מסקנות בזמן אמת, ומעבדות באיסוף מידע ובניתוח מידע. כמו כן, נלמדות שפות תכנות נפוצות בתחום זה כגון Python, ונלמדים קורסים טכנולוגיים.			

קורסים	מסלול	פקולטה	מוסד אקדמי
- למידה חישובית וזיהוי תבניות - בינה חישובית - ביג דאטה - ראייה ממוחשבת	חטיבת לימודים בעיבוד אותות ולמידה חישובית	מדעי המחשב	מכללת תל חי
התכנית מתמקדת בשני תחומים עיקריים: עיבוד אותות ותמונות ולמידה חישובית. הלימודים בחטיבה כוללים עיבוד אותות קול ותמונה, ראייה ממוחשבת, דחיסת תמונות, למידה חישובית וזיהוי תבניות, בינה חישובית, data big ועוד.			

» מכללות – תואר שני

קורסים	מסלול	פקולטה	מוסד אקדמי
- מערכות לומדות - אלגוריתמים מתקדמים בביוולוגיה חישובית	M.Sc. הנדסת תכנה	המחלקה להנדסת תכנה	מכללת אורט בראודה
תכנית לימודים המקנה ידע מקיף ומעמיק בפיתוח יישומי תכנה מדעיים, טכנולוגיים וניהוליים. התכנית כוללת רקע מדעי כללי, קורסי הנדסה וטכנולוגיה.			
- אלגוריתמים בביוולוגיה חישובית - טכניקת פיתוח במחקר אינטרקטיב – מחשב - מחשוב קוגניטיבי - למידה ממוכנת - מסדי נתונים וניתוח מידע רחב היקף - עיבוד תמונה בעידן הלמידה העמוקה - ראייה ממוחשבת - אחזור מידע וחיפוש ברשת	תואר שני במדעי המחשב	בית ספר אפי ארזי למדעי מחשב	המרכז הבינתחומי הרצליה
מבין התחומים הנחקרים בבית הספר: אבטחת מידע, קריפטוגרפיה, אלגוריתמים, תאוריה של מדעי המחשב, גרפיקה ממוחשבת, ראייה ממוחשבת, עיבוד תמונה, ביוולוגיה חישובית, ניתוח מערכות נתונים מורכבות. מערכות מבוצרות ומדיה דיגיטלית.			
מלאכותית, למידה מכונה ומדע הנתונים	תואר שני MBA	בית ספר אריסון למנהל עסקים	המרכז הבינתחומי הרצליה
- ניהול תשתיות טכנולוגיות מידע מתקדמות - כריית נתונים - מודלים של למידת מכונה בלתי מונחית - מערכות תומכות החלטה	תואר שני בניהול טכנולוגיה - אשכול ניהול טכנולוגיות מידע	בניהול טכנולוגיה	המכון הטכנולוגי חולון
- יישומים של למידה עמוקה - למידת מכונה: למידה מדוגמאות - סמינר: עיבוד מידע בענן תוך שמירה על סודיות המידע - עיבוד שפה טבעית - אנליזה של ביג דאטה - למידה חישובית יישומית - מבוא לבינה מלאכותית - Data mining	תואר שני במדעי המחשב	בית הספר למדעי המחשב	אקדמית ת"א יפו
- ניתוח וניהול נתוני עתק בסביבת ענן - מערכות תומכות החלטה - סמינריון מתקדם בכריית טקסטים - מידע נתונים ושיטות ניתוח סביבה עסקית	תואר שני במנהל עסקים	פקולטה להנדסה ולמדעי המחשב	המרכז האקדמי לב
מערכות מידע - מדע נתונים			

- ביג דאטה וטכנולוגיות מתפתחות - אנליטיקת לקוח BI	התמחות ב-BI	מנהל עסקים MBA	מכללת רופין
	התמחות חדשה. ההתמחות זו משותפת לבית הספר למנהל עסקים ולבית הספר להנדסה.		

נספח 6: רשימת מרואיינים

» מומחים מהאקדמיה

שם	ארגון
פרופ' צבי שילר	אוניברסיטת אריאל
גלעד רביד	אוניברסיטת בן גוריון
פרופ' יובל שחר	אוניברסיטת בן גוריון
פרופ' ליאור רוקח	אוניברסיטת בן גוריון
פרופ' צבי קופליק	אוניברסיטת חיפה
פרופ' שיזף רפאלי	אוניברסיטת חיפה
פרופ' חגית מסר ירון	אוניברסיטת תל אביב
פרופ' חייט גרינשפן	אוניברסיטת תל אביב
פרופ' ג'ף רוזנשטיין	האוניברסיטה העברית
פרופ' דפנה שחף	האוניברסיטה העברית
פרופ' נועם ניסן	האוניברסיטה העברית
ד"ר ענת בן דוד	האוניברסיטה הפתוחה
ד"ר ארז כרפס	הטכניון
פרופ' אלון וולף	הטכניון
פרופ' דני וייס	הטכניון
פרופ' כרמל דומשלק	הטכניון
פרופ' מיקי אלעד	הטכניון
פרופ' משה שהם	הטכניון
פרופ' נחום שימקין	הטכניון
פרופ' שי מנור	הטכניון
פרופ' שאול מרקוביץ'	הטכניון
ד"ר רותי גפני וד"ר גלית גורדוני	המכללה האקדמית תל אביב יפו
פרופ' נטליה ונטיק	מכללת סמי שמעון

» מומחים מהתעשייה

שם	חברה
אופיר בוסתן	Robotican
ד"ר אייל כהן	Cognifiber
ד"ר אירית אידן	רפאל
אלון סטופל	אלביט
בועז כהן	Applied Materials
דביר בן-עמי	Razor Labs
זיו אלול	FYBER
יגאל רייכלגאוז	Cortica
יורם אבידן	Philips
יורם עוזיאל	Applied Materials
נתי אמסטרדם	Nvidia
פרופ' עודד שוסייב	Yaskawa Israel
קרלוס בן נעים	DLR
שי וייסמן וערן רוזנברג	HTS
דניאל אוריאל	GM

» מומחים ממערכת הביטחון

שם	ארגון
איתן לבנון	אגף כ"א טכנולוגי
גיל גור	מודיעין
דרור בן דוד	מטריקס
מנחם פרידמן	פיקוד העורף
נאור כספי ואורן קנדל	שרות
ערן גרניט	מפאת
רואי שפר	מפא"ת
שי אקלר	מפא"ת

» מומחים בנושא מאגרי מידע ממשלתיים

שם	ארגון
שחר ברכה	רשות התקשוב
שירה לב עמי	בראות דיגיטלית
שי לי שפיגלמן	ישראל דיגיטלית

» מומחים מהאקוסיסטם הישראלי

שם	ארגון
ד"ר אלעד יום טוב	מיקרוסופט/הטכניון
ד"ר אריה פרי (פנסיונר של תע"א)	AUVSI (Association for Unmanned Vehicle Systems International)
ד"ר ארנה ברי	יזמת, לשעבר Dell EMC
ד"ר קירה רדינסקי	טכניון / Ebay
מולי אדן	אינטל / אוניברסיטת חיפה
פרופ' יהושע זאבי	קורטיקה / טכניון
פרופ' יואב בנימיני	אוניברסיטת תל-אביב / ועדת ות"ת
פרופ' יצחק בן ישראל	אוניברסיטת תל אביב
פרופ' רון קנת	מוסד נאמן/ KPA אנליטיקה
פרופ' תא"ל במיל' יעקב נגל	הטכניון
פרופ' אורן קורלנד	הטכניון/מודיעין
יואב אבנשטיין	אוניברסיטת תל אביב, נציג ישראל בוועדת התקינה הבינלאומית לאינטיליגנציה מלאכותית ISO
ערן פז	קבוצת Deep Learning Israel בפייסבוק
אורי אליאביב	קבוצת Deep Learning Israel בפייסבוק
דניאל זינגר	Startuphub.ai
נעם עמרם	מאגד אינפומדיה

נספח 7: סקר תעשייה

סקר לאומי בבינה מלאכותית, מדעי נתונים ורובוטיקה חכמה

משרד המדע והטכנולוגיה
המועצה הלאומית למחקר ופיתוח



מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית



בנייד מומלץ לסובב את המסך
ולעיין ב Landscape mode

חלק 1: תחומי פעילות החברה ופרופיל עובדים

1. סמן את תחום פעילות החברה (נא לסמן את התחום העיקרי):

☐	Artificial Intelligence
☐	Data Science
☐	Autonomous Systems
☐	Smart Robotics
☐	Internet of Things
☐	Quantum Computing
☐	Other

אם תחום אחר אנא ציין:

2. בחר את הסקטור העיקרי בו פועלת החברה:

☐	אגריטק/קלינטק (Agritech/Cleantech)
☐	אנרגיה (Energy)
☐	ביטוח ופיננסים (Fintech & Insurance)
☐	הגנת סייבר (Cyber Security)
☐	הימורים (Gambling)
☐	בריאות (Healthcare)
☐	טכנולוגיות ביטחוניות (Military)
☐	טכנולוגיות חינוך (EdTech)
☐	טכנולוגיות משפטיות (Legal)
☐	מזון (Foodtech)
☐	מכירות ושיווק (Sales & Marketing)
☐	משאבי אנוש (HR)
☐	ספורט (Sports)
☐	עסקים (מידע פנימי ומודיעין, פיתוח BI ו-Enterprise) (IT)
☐	ערים חכמות (Smart Cities)
☐	פיתוח כלי תוכנה (Development of Software Tools)
☐	פיתוח שירותי ענן (Development of Cloud Services)
☐	פרסום (Advertising)
☐	קמעונאות וקניות (Shopping)
☐	רכב ותחבורה (Automotive & Transportation)
☐	תיירות (Travel)
☐	תעשייה, ייצור, תחזוקה, אופטימיזציה (Industry)
☐	אחר

אם סקטור אחר, אנא ציין:

3. פרופיל עובדי החברה:

3.1 סמן את מספר העובדים בעלי תואר שלישי בתחומי הבינה המלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה:

3.2 סמן את מספר העובדים בעלי תואר שני בתחומי הבינה המלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה:

3.3 סמן את מספר העובדים בעלי תואר ראשון בתחומי הבינה המלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה:

3.4 מספר עובדים ללא תואר אקדמי בתחומי הבינה המלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה:

חלק 2: כוח אדם בתחומי בינה מלאכותית, מדעי נתונים ורובוטיקה חכמה

בשאלות הבאות המילה 'תחומים' מתייחסת לבינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה

4. דרג מ-1 עד 5 את רמת החשיבות של סוגי התארים/הכשרות הבאות אצל עובדים המתמחים במחקר ופיתוח בתחומים אלה :

חשיבות סוג ההכשרה	1 לא חשוב כלל	2 חשוב במידה מועטה	3 חשוב במידה בינונית	4 חשוב במידה רבה	5 חשוב במידה רבה מאוד
1. תואר מחקרי (תואר שלישי או תואר שני עם תזה)	☐	☐	☐	☐	☐
2. תואר לא מחקרי (תואר ראשון או תואר שני בלי תזה)	☐	☐	☐	☐	☐
3. תואר ממכללה אקדמית	☐	☐	☐	☐	☐
4. הכשרות מקצועיות לא אקדמיות	☐	☐	☐	☐	☐
5. יחידות טכנולוגיות בצבא	☐	☐	☐	☐	☐
6. קורסים מקוונים	☐	☐	☐	☐	☐
7. הכשרות בתעשייה (INTERNSHIPS)	☐	☐	☐	☐	☐

אם ישנה חשיבות להכשרה נוספת, אנא ציין:

חשיבות סוג ההכשרה	1 לא חשוב כלל	2 חשוב במידה מועטה	3 חשוב במידה בינונית	4 חשוב במידה רבה	5 חשוב במידה רבה מאוד
	☐	☐	☐	☐	☐
	☐	☐	☐	☐	☐
	☐	☐	☐	☐	☐

5. דרג מ-1 עד 5 את רמת ההתאמה של מסלול תואר ראשון להכשרה בתחומים אלה:

חשיבות סוג ההכשרה	1 לא חשוב כלל	2 חשוב במידה מועטה	3 חשוב במידה בינונית	4 חשוב במידה רבה	5 חשוב במידה רבה מאוד
1. מתמטיקה	☐	☐	☐	☐	☐
2. פיסיקה	☐	☐	☐	☐	☐
3. הנדסת מחשבים	☐	☐	☐	☐	☐
4. הנדסת מכונות	☐	☐	☐	☐	☐
5. סטטיסטיקה	☐	☐	☐	☐	☐
6. הנדסת חשמל	☐	☐	☐	☐	☐
7. הנדסת תוכנה	☐	☐	☐	☐	☐
8. מסלול ייעודי ב- Data-Science	☐	☐	☐	☐	☐

אם ישנה חשיבות למסלול תואר ראשון נוסף, אנא ציין:

חשיבות סוג ההכשרה	1 לא חשוב כלל	2 חשוב במידה מועטה	3 חשוב במידה בינונית	4 חשוב במידה רבה	5 חשוב במידה רבה מאוד
	☐	☐	☐	☐	☐
	☐	☐	☐	☐	☐
	☐	☐	☐	☐	☐

6. דרג מ-1 עד 5 את רמת הקושי שאתם חווים בגיוס עובדי מחקר ופיתוח המתמחים בתחומים אלה:

קושי בגיוס עובדים לפי סוגי ההכשרה	1 אין קושי כלל	2 קושי במידה מועטה	3 קושי במידה בינונית	4 קושי במידה רבה	5 קושי במידה רבה מאוד	לא מחפשים עובדים עם סוג ההכשרה זה
1. תואר מחקרי (תואר שלישי או תואר שני עם תזה)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
2. תואר לא מחקרי (תואר ראשון או תואר שני בלי תזה)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
3. תואר ממכללה אקדמית	☐	☐	☐	☐	☐	☐
4. הכשרות מקצועיות לא אקדמיות	☐	☐	☐	☐	☐	☐
5. יחידות טכנולוגיות בצבא	☐	☐	☐	☐	☐	☐
6. קורסים מקוונים	☐	☐	☐	☐	☐	☐

7. הערך את מספר העובדים, ברמות ההכשרה שונות, החסרים היום בחברה:

7.1 עובדים בעלי תואר שלישי:

 בחר

7.2 עובדים בעלי תואר שני:

 בחר

7.3 עובדים בעלי תואר ראשון:

 בחר

7.4 עובדים ללא תואר אקדמי:

 בחר

חלק 3: חוזקות וחולשות התעשייה בישראל בתחומי הבינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה

8. דרג מ-1 עד 5, באילו מהתחומים הבאים יש לישראל את היכולת להוביל בבינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה?

תחומים	1 במידה מועטה מאוד	2 במידה מועטה	3 במידה בינונית	4 במידה רבה	5 במידה רבה מאוד
1. מערכות אוטונומיות	☐	☐	☐	☐	☐
2. סנסורים	☐	☐	☐	☐	☐
4. רשתות עצבים מלאכותיות	☐	☐	☐	☐	☐
5. עיבוד תמונה ו/או ראייה ממוחשבת	☐	☐	☐	☐	☐
6. עיבוד זיהוי קול	☐	☐	☐	☐	☐
8. Chatbots	☐	☐	☐	☐	☐
9. כריית מידע מרשתות תקשורת	☐	☐	☐	☐	☐
10. אינטראקציית אדם-מכונה	☐	☐	☐	☐	☐
11. ניתוח רגשות בזמן אמת	☐	☐	☐	☐	☐
12. בני-לוייה וירטואליים	☐	☐	☐	☐	☐
13. תרגום אוניברסלי בזמן אמת	☐	☐	☐	☐	☐
14. משחקים בכוח המחשבה	☐	☐	☐	☐	☐
15. רובוטים ניתוחיים	☐	☐	☐	☐	☐
16. עוזרים אישיים רובוטיים	☐	☐	☐	☐	☐
17. אבטחת סייבר	☐	☐	☐	☐	☐
18. זיהוי ביומטרי	☐	☐	☐	☐	☐
19. מחשוב קוונטי	☐	☐	☐	☐	☐
20. רובוטים חכמים תעשייתיים	☐	☐	☐	☐	☐

אם ישנם תחומים נוספים בהם יש לישראל את היכולת להוביל בבינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה, אנא ציין:

תחומים	1 לא חשוב כלל	2 חשוב במידה מועטה	3 חשוב במידה בינונית	4 חשוב במידה רבה	5 חשוב במידה רבה מאוד
	☐	☐	☐	☐	☐
	☐	☐	☐	☐	☐
	☐	☐	☐	☐	☐

חלק 4: קידום תחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה בישראל

9. אילו אמצעים נדרשים על מנת לקדם את תחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה במדינת ישראל? ציין את מידת החשיבות לכל אחת מהאפשרויות הבאות:

בתחום זה...	1 לא חשוב כלל	2 חשוב מועטה	3 חשוב במידה בינונית	4 חשוב במידה רבה	5 חשוב במידה רבה מאוד
1. חיזוק מחלקות קיימות באוניברסיטאות בנושאי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה	☐	☐	☐	☐	☐
2. הקמת מכוני מחקר/מרכזי ידע במוסדות האקדמיים בנושאי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה	☐	☐	☐	☐	☐
3. הקמת מכוני מחקר/מרכזי ידע עצמאיים/בלתי תלויים בנושאי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה	☐	☐	☐	☐	☐
4. הקמת מטה/גוף ממשלתי להכוונה וקביעת אסטרטגיה לאומית	☐	☐	☐	☐	☐
5. מענקי מחקר עבור פרויקטים משותפים לתעשייה ולאקדמיה	☐	☐	☐	☐	☐
6. סיוע ממשלתי במימון הכשרה מקצועית (קורסים מקוונים, הכשרות וכו')	☐	☐	☐	☐	☐
7. סיוע ממשלתי לתעשייה להקמת תשתיות חומרה	☐	☐	☐	☐	☐
8. השתתפות בעלויות השימוש בשירותי הענן	☐	☐	☐	☐	☐
9. הקמת תשתיות ענן לאומיות שיספקו שירותי ענן לתעשייה	☐	☐	☐	☐	☐
10. פתיחת מאגרי המידע הממשלתיים (תחת אנונימזציה ורגולציה הולמת)	☐	☐	☐	☐	☐
11. סיוע ממשלתי במימון גישה למאגרי מידע שמרכזים ומציעים גופים מסחריים	☐	☐	☐	☐	☐
12. מימון או ארגון כנסים באקדמיה ובתעשייה	☐	☐	☐	☐	☐
13. סיוע ממשלתי באיתור/מימון אפשרויות לשיתופי פעולה בינלאומיים במחקר ופיתוח	☐	☐	☐	☐	☐
14. הכשרת תלמידי תיכון בנושאי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה	☐	☐	☐	☐	☐
15. הקמת תשתית ניסויית לרובוטיקה	☐	☐	☐	☐	☐
16. סיוע ממשלתי באיתור והחזרת מומחים ישראלים מחו"ל	☐	☐	☐	☐	☐
17. אשרות עבודה למומחים מחו"ל	☐	☐	☐	☐	☐
18. ייעול תהליך העברת IP בין האקדמיה לתעשייה	☐	☐	☐	☐	☐

אם ישנם אמצעים נוספים על מנת לקדם את תחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה, אנא ציין:

בתחום זה...	1 לא חשוב כלל	2 חשוב מועטה	3 חשוב במידה בינונית	4 חשוב במידה רבה	5 חשוב במידה רבה מאוד
	☐	☐	☐	☐	☐
	☐	☐	☐	☐	☐
	☐	☐	☐	☐	☐

10. האם לדעתך מדינת ישראל צריכה לקבוע סטנדרטים משלה בנושאי סודיות ושקיפות בתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה או להסתמך על סטנדרטיים בינלאומיים?

- ☐ מדינת ישראל צריכה לקבוע סטנדרטים משלה בנושאי סודיות ושקיפות בתחומי בינה מלאכותית
- ☐ מדינת ישראל צריכה לפעול על סטנדרטים בינלאומיים בנושאי סודיות ושקיפות בתחומי בינה מלאכותית
- ☐ לכשיקבעו
- ☐ אין לי דעה בנושא
- ☐ אחר, פרט:

11. אנא ציין אם יש לך הערות ותובנות נוספות לגבי קידום תחומים אלה בישראל:

12. האם יש לך עמית בתעשייה שלפי דעתך חשוב שישתתף בסקר הזה? אם כן, אנא מלא את הפרטים הבאים:

שם וכתובת דואר אלקטרוני:

13. כפי שצוין, הסקר אנונימי. אם אתה בכל זאת מעוניין ששם החברה יופיע בדו"ח, אנא מלא את הפרטים הבאים:

שם חברה ותיאור קצר (במשפט או שניים):

מדע וטכנולוגיה



מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית

טל. 04-8292329 | פקס. 04-8231889
קרית הטכניון, חיפה 3200003
www.neaman.org.il