



מדע וטכנולוגיה

בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה דו"ח ראשון - תקציר

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 ורובוטיקה חכמה

דו"ח ראשון - תקציר

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.

תקציר

רקע

המועצה הלאומית למחקר ולפיתוח (המולמו"פ) פועלת לפי חוק המולמו"פ, התשס"ג, 2002 - המטיל עליה לייעץ לממשלה בגיבוש מדיניות המו"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 וביטחון ישראל ולרווחת החברה הישראלית 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 והתובנות ראשוניות לכיוונים עבור תכנית אסטרטגית לאומית 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.

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 בסקר הספרות וגם מהראיונות שנערכו, 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).

¹ חלק מסקר ספרות זה הועבר למולמו"פ בחודש מרץ 2018 כחלק מהתוצר הראשוני של הפרויקט. חלקים אחרים, כמו סקירת אסטרטגיות בינלאומיות וסקירה ממוקדת לנושא הון אנושי מועברות לראשונה בדו"ח זה.

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

- **טכנולוגיות לאיסוף מידע:** טכנולוגיות האוספות מידע לשימושים שונים, כגון האינטרנט של הדברים (IoT) על כל חיישניה.
 - **טכנולוגיות לעיבוד וניתוח מידע:** טכנולוגיות לכריית מידע (data mining), ויזואליזציה של המידע, חיזוי אנליטי (predictive analytics) ופענוח משמעות.
 - **טכנולוגיות מבוססות-בלוקצ'יין:** טכנולוגיות בלוקצ'יין ליצירת אלגוריתמים אוטונומיים וחוזים חכמים.
- אלא שנושאים כמו חיזוי אנליטי או פענוח משמעותיות מתאימים גם להגדרה של בינה מלאכותית. ואכן, בראיונות שביצענו חלק מהמראיינים התייחסו למדעי הנתונים כאל הבסיס לבינה מלאכותית, ואילו אחרים התייחסו למדעי הנתונים כתחום הכולל בתוכו גם בינה מלאכותית.
- 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

◀ תפוקות מחקר בישראל

» פרסומים

סין וארה"ב אחראיות למעל 36% מכלל הפרסומים המדעיים בשנים 2013-2017 בקטגוריות שהוגדרו כרלוונטיות לתחום המחקר. ישראל ממוקמת במקום ה-34 בסך הפרסומים בשנים אלו בקטגוריות אלו ובמקום ה-18 בפרסומים לנפש (המובילות בפרסומים לנפש הן סינגפור, פינלנד, שווייץ ואוסטרליה).

למרות הגידול בסך הפרסומים של ישראל בין השנים 2000-2017 (עלייה של 229%) שיעור הגידול במדינות כמו סינגפור, הולנד ושווייץ היה גבוה יותר (630%, 279% ו-351% בהתאמה). גם שיעור הגידול בפרסומי מדינות ה-OECD היה גדול משל ישראל בתקופה הנדונה, ועמד על 409%. שיעור הצמיחה הגבוה בשיתוף הפעולה הבינלאומי בין חוקרים תורם לשיתוף הידע ולקידום המדע. מספר הפרסומים המשותפים של ישראל עלה ב-63% בשנים 2008-2017, אך שיעור העלייה נמוך יחסית למדינות ברות ההשוואה כגון סינגפור, עם עלייה של 224% בפרסומים משותפים. מספר הציטוטים של מאמר משמש כמדד עיקרי באקדמיה להערכת ההשפעה המדעית של המחקר. במספר הפרסומים שנכללים בקבוצה של 10% המאמרים המצוטטים ביותר בקטגוריית בינה מלאכותית, סינגפור מובילה בשיעור הצמיחה עם 252% בתקופה שנבדקה, כאשר ישראל מציגה עלייה מתונה בלבד במדד זה. בדירוג לפי מספר הפטנטים שמצטטים מאמרים בקטגוריית הבינה המלאכותית - ישראל ממוקמת במקום השני אחרי שווייץ (בדירוג של ישראל ביחס למדינות ברות-השוואה).

יש לציין, כי מספר החוקרים הבולטים, שפרסמו מעל לחמישה מאמרים בחמש השנים האחרונות בתחום הבינה המלאכותית במדינות כגון סינגפור, הולנד ובלגיה גבוה במידה ניכרת ממספר החוקרים הבולטים בתחום בישראל. עם זאת, החוקרים הישראליים אינם נופלים מחוקרים במדינות ברות השוואה מבחינת הפריון, ואף עולים עליהם בחלק מהמקרים.

חוקרים ישראלים זכו בסך של 483 מענקי ERC, כאשר רק חמש מדינות מתוך המדינות החברות באיחוד האירופי ומדינה אחת מתוך המדינות הנלוות מקדימות אותה במספר המענקים. יותר מ-5% (לפחות 26 מענקים) ממענקי

ERC שקיבלו חוקרים מאוניברסיטאות בישראל היו בתחומים הנושקים לבינה המלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה.

» פטנטים

סך כל הבקשות הייחודיות לפטנטים בתחום ה-AI עבור מגישים ישראלים עלה בממוצע בכ-10% לשנה בין השנים 2000-2014. Applied Materials (Israel) הינה החברה הישראלית המובילה במספר הבקשות לפטנטים, כאשר IBM מובילה את החברות הזרות, שיש להן מרכזי מחקר ופיתוח בישראל.

מבחינת הטכנולוגיות המובילות בסקטור העסקי בישראל, ניתן להצביע על Input arrangements for transferring data, המתייחסת לעיבוד קלט בצורה שניתנת לטיפול על ידי המחשב (כלומר קשורה לממשק מחשב), כעל טכנולוגיה מובילה במספר בקשות ייחודיות לפטנטים. גם בקרב החברות הזרות הטכנולוגיה המובילה היא Input arrangements for transferring data ומיד אחריה זיהוי כתב.

◀ ממצאים ותובנות מראיונות עומק

לראיונות העומק שנערכו 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.

סה"כ רואיינו כ-60 אנשים. 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.

» תשתיות

א. תשתיות דאטה

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

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

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.

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, תעדוף בקשות לתמיכה שבהן שהדאטה מהווה מרכיב משמעותי ועוד.

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

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

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

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 המחקר במוסד נאמן, יציג שאלה בנושא בפני החברות בתחום).

ג. תשתיות בתחום הרובוטיקה החכמה

ממצא 1: יש בישראל כוח אדם איכותי בתחום הרובוטיקה, 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 שמשמעותה של החלטה כזו היא השקעה כספית משמעותית בתשתיות מחקר ופיתוח.

» הון אנושי והכשרות

א. בוגרי תארים לא מחקרניים

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 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.

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).

ב. בוגרי תארים מחקריים

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

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

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

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.

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 על 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.

בחינת המודל הנכון לעבודת חוקרים מהאוניברסיטאות בתעשייה. המודלים אליהם נחשפנו הם:

» עבודה בתעשייה יום אחד בשבוע (מאפשר לחוקר להיחשף לבעיות אמיתיות בתעשייה)

» עבודה ב'משרה מלאה באקדמיה ומשרד מלאה בתעשייה'

» לקיחת חל"ת לצורך עבודה בתעשייה לזמן מוגדר

ג. 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 המחקר במוסד נאמן, יציג שאלה בנושא בפני החברות בתחום).

ד. 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

ה. 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.

» תחומי החוזק של ישראל

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

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

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

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)

◀ המשך מחקר

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

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.

◀ לקחים מרכזיים מתכניות אסטרטגיות בעולם

בין השנים 2016 ל-2017 גובשו שבע תכניות אסטרטגיות לאומיות בנושא הבינה המלאכותית, עם התייחסות (בחלק מהתכניות) גם לרובוטיקה חכמה²: 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. עיון בשבע התכניות הללו מניב מספר עקרונות וקווים משותפים לדמותן.

1. 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

² בשנת 2018 נוספו תכניות אסטרטגיות נוספות שסיקרו בהמשך העבודה, כולל תכניות בנושאי Data-Science

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 שלה 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.

2. 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'נפטרה' 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 בהם בממשלה, באקדמיה ובתעשייה.

בנוסף, ממשלות חייבות לתמוך ב'רכישת' כישרונות יוצאי-דופן בתחום, הבאתם לאקדמיה ומציאת דרכים לשמור עליהם שם, במקום בו יוכלו לאמן ולהכשיר חוקרים צעירים ומבטיחים.

3. 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).

4. 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:** עידוד אקטיבי של חוקרים באקדמיה 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:** חשוב שמרכזי מחקר יפעלו ביחד, ישתפו פעולה ויתאמו את השימוש בכוח המחשוב המשותף שלהם למטרות מחקר בינה מלאכותית.
- **תיאום בתעשייה:** מומלץ כי החברות הגדולות יתאמו ביניהן הקמת התשתיות הנדרשות גם לתמיכה בסטארט-אפים ובמסחר המוצרים, והקמת פלטפורמות פתוחות לעידוד ותמיכה בחדשנות.
- **קביעת סטנדרטים מוסכמים:** 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.

5. 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."

6. 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 למקצועות 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.

◀ ממצאים מסקירת ספרות בנושא הכשרת כוח אדם מדעי וטכנולוגי

סוגיית כוח האדם הנדרש לתמיכה בנושאי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה מעסיקה גופים ממשלתיים כמו גם גופים פרטיים רבים בעולם. במחקר זה נסקרו שינויים בביקוש לעובדים, ושינויים בכישורים ובמיומנויות מבוקשים עבור מדעי הנתונים, בינה מלאכותית ורובוטיקה חכמה. בהמשך נסקרו צעדים אותם נוקטות מדינות נבחרות לקידום ולפיתוח עובדים בתחומים אלו.

» מדעי הנתונים

מהדוחות שנסקרו עולה שבתחום מדעי הנתונים צפויה בשנים הקרובות עלייה משמעותית בביקוש לעובדי מדעי הנתונים, החל מאנליסטים פיננסיים ועסקיים, דרך מנהלים שיזדקקו להבנה בתחום נתוני-עתק לצורך קבלת החלטות המבוססות על נתונים, ועד למדעני מידע שייצרו מודלים מתקדמים. **בארה"ב לבדה צפוי גידול של כ-12% בביקוש למשרות בתחום מדעי הנתונים בשנים הקרובות. גידול כזה בביקוש עלול, בתרחישים מסוימים, להביא למחסור של עד ל-250,000 עובדים בשנת 2024**, אם פעולות שמבצעים היום אנשים מתחום מדעי הנתונים כמו ניקוי והבניית מידע לא יהפכו להיות אוטומטיות. ביקושים אלו צפויים להגיע מתחומים כמו כספים וביטוח, שירותים מקצועיים, ייצור, בריאות, קמעונאות ועוד.

גם מדינות כמו קנדה, יפן, סינגפור ואחרות דיווחו על צפי לגידול משמעותי בביקושים לעובדי מדעי הנתונים. בישראל חלה בשנת 2017 עלייה של עשרות אחוזים בביקוש למהנדסים בתחומים אלו.

ישנם מיפויים המצביעים על כך שהביקוש למדעני מידע בעלי רמה אנליטית גבוהה המסוגלים לבנות מודלים מתוחכמים לשימוש במידע צפוי להיות נמוך משמעותית לעומת תפקידים של אספקת מידע (אנליסטים כגון אנליסטים פיננסיים ועסקיים), בניית ותחזוקת תשתיות מידע (כגון אדמיניסטרטורים של מאגרי מידע) ותפקידים של שימוש במידע לצורך קבלת החלטות עסקיות כגון מנהלי פרויקטים ומנהלי שיווק.

הכישורים שידרשו משתנים בין סוגי התפקידים השונים. המועסקים בתחום יידרשו לשלוט במיומנויות מחשוב ותכנות שונות, יכולות אנליטיות הקשורות לבינה עסקית (Business Intelligence), ויכולת לביצוע 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, אחסון נתונים וידע ב-Machine Learning.

רכישת מיומנויות אלו מתרחשת בדרכים מגוונות. סטודנטים בארה"ב למדו בשנת 2016 במאות תכניות שונות במדעי הנתונים. קיימות הכשרות לעובדי חברות בשיתוף התעשייה והאקדמיה במטרה להעניק לעובדים בסיס ידע בתחום. סטודנטים בעלי רקע במתמטיקה ובהנדסה משתתפים ב-Bootcamps או בקורסים מקוונים (MOOCs). בכל התכניות האלו נרכשות מיומנויות בסיס כמו שפות תכנות ++C ו-Python, סטטיסטיקה ואספקטים של Machine Learning. נלמדים גם קורסים בכריית מידע, פלטפורמות נתוני-עתק וכלים לביצוע ויזואליזציה.

פרויקט אדיסון

פרויקט אדיסון של האיחוד האירופי³ בחן בצורה מקיפה את הדרישות לבניית מקצוע מדעי הנתונים על כל היבטיו, תוך התאמתו לצרכי התעשייה ואל מול ההשכלה וגופי הידע הנדרשים ללומדים את התחום. בפרויקט אדיסון הוגדרו ארבעה היבטים שונים הנדרשים במקצוע מדעי הנתונים: כישורים⁴, גופי הידע⁵, תכניות הלימודים⁶ ופרופילים מקצועיים⁷.

עקב רמת הפירוט הגבוהה של המידע מומלץ לעיין בפירוט בגוף דו"ח זה, כמו גם בדוחות המלאים המקוריים על מנת לקבל תמונה מקיפה הכוללת את כל מרכיבי המקצוע. תמונה זאת יכולה לסייע רבות בהבנת התחום ובייחוד בבניית תכניות הלימוד הנדרשות להקניית הידע הרלוונטי.

» בינה מלאכותית

כפי שנאמר בהגדרות לעיל, תחום הבינה המלאכותית מוגדר לעיתים כתחום נפרד ממדעי המידע ולעיתים כתחום הנכלל ומשלים את מדעי המידע באמצעות שימוש בכלים מתקדמים לעיבוד וניתוח של מידע ויצירת 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 הינם גבוהות מאוד. כך, לדוגמה, בישראל עשוי להגיע שכרו הממוצע של מתכנת AI לכדי 33 אלף ש"ח בחודש 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.

משנת 2000 חלה בארה"ב עליה של פי 14 במספר החברות המפתחות מערכות AI ועליה של פי ששה בסכום ההשקעות של 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 כאשר כ-2.3 משרות בממוצע פתוחות עבור כל עובד בעל יכולת בתחום. בישראל, לפי חלק מההערכות, חסרים היום לפחות 400 חוקרים למשרות הליבה בתחום הבינה המלאכותית (מומחים לראייה ממוחשבת, דיפ לרנינג ועיבוד תמונה).

על פי ההערכות, ישנם כ-5,000 איש ברחבי העולם המובילים את התחום, משתתפים בכנסים מדעיים ומפרסמים מאמרים הנוגעים לבינה מלאכותית. כמו כן, ידע משמעותי בתחום קיים אצל לא יותר מכמה עשרות אלפי אנשים ברחבי העולם. כתוצאה מהבנת הפוטנציאל הטמון בטכנולוגיה ממשלות מתחרות ביניהן על גיוס עובדים מוכשרים והקמת מרכזי פיתוח בתחום, ומשקיעות סכומי עתק של מיליארדי דולרים לצורך כך.

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.

המיומנויות שתידרשנה בתחום הבינה המלאכותית הן מגוונות ונוגעות ליכולות חישוביות ותכנותיות (בעיקר שפות כמו ++C, Python, Java ו-R), יכולות אנליטיות חקר ופתרון בעיות, מיומנויות הקשורות לטיפול במידע ומיומנויות מתמטיות וסטטיסטיות שהן התשתית לפיתוח יכולות בינה מלאכותית מתקדמת.

אוניברסיטאות מובילות בעולם מציעות תארים בתחום הבינה המלאכותית, כמו מסלול בוגר במדעי המחשב עם התמחות בבינה מלאכותית ומסלול מאסטר ודוקטורט בלמידת מכונה.

³ <http://edison-project.eu/>

⁴ <http://edison-project.eu/data-science-competence-framework-cf-ds>

⁵ <http://edison-project.eu/data-science-body-knowledge-ds-bok>

⁶ <http://edison-project.eu/data-science-model-curriculum-mc-ds>

⁷ <http://edison-project.eu/data-science-professional-profiles-definition-dsp>

» רובוטיקה חכמה

בשל כניסת מערכות רובוטיות לתחומים רבים בתעשייה, עובדים רבים כיום נדרשים לשלב בעבודתם מיומנויות הקשורות לשימוש בטכנולוגיה מתקדמת ובכלל זה ברובוטיקה. תפקידים אלו כוללים, בין היתר, מתכנתים, מפעילים ואנשי אחזקה של רובוטים. ככל שכניסת הרובוטים לתחומים תעשייתיים ועסקיים תואץ, צפוי שיידרשו יותר ויותר עובדים בעלי מיומנויות בתחום זה. מחקר שנערך בשנים האחרונות בבריטניה מצא כי קיים קושי באיוש כ-50% מהמשרות שדרשו ידע כמהנדסי רובוטיקה. בשנת 2016, היו בארה"ב כ-130 אלף מהנדסי רובוטיקה ומספר זה צפוי לגדול ב-5-9% בעשר השנים הקרובות.

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, למשל, מוצע שכר גבוה לעובדים מוכשרים בתחום, העומד על 295 אלף דולר בשנה בממוצע. חברות כגון גוגל, מציעות כ-280 אלף דולר בשנה בממוצע, ואף יותר, למהנדסים בתחום הרובוטיקה החכמה.

המיומנויות העיקריות הנדרשות כיום ממהנדסי הרובוטיקה קשורות לתחום התכנות, הנדסה ותכן של מערכות רובוטיות אוטומטיות, עיבוד אותות, תמיכה, התקנה וכיול. תחומי הידע הנדרשים למקצוע זה הם הנדסת מכונות, הנדסת מחשבים ואלקטרוניקה ומתמטיקה.

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. לדוגמא, לפיתוח רובוטים המיועדים לסייע לבני אדם בתחומי הבריאות והסיעוד, סביר להניח כי יידרשו גם בעלי מקצוע אחרים כגון פסיכולוגים, רופאים מומחים, אנשי משפט, אתיקה וסוציולוגיה.

מספר אוניברסיטאות בעולם מציעות תכניות לימודים בתחום הרובוטיקה החכמה, תכני לימוד וקורסים הנוגעים לניווט וראיה רובוטית, קורסים מתקדמים בשימוש ברשתות מחשוב ותקשורת בהקשר הרובוטי ובקינמטיקה רובוטית. מרכזים אוניברסיטאיים ייעודיים מתמקדים ביישומי רובוטיקה חכמה – בעלי יכולת אוטונומית ואפשרות לעבוד באינטראקציה עם אנשים.

» קידום ופיתוח עובדים בבינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה במדינות נבחרות

סקירה של צעדים אותם 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 מעלה מספר קוים מנחים:

- » 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 בקונסורציה בינלאומיים גדולים יותר (כפי שאירע במדינות אירופה בד"כ) על מנת לקדם את כוח העבודה שלהן.
- » קיימים הבדלים גדולים בין המדינות השונות מבחינת האסטרטגיות הממשלתיות, אופן יישומן ורמת תקצובן.
- » למרות תפקידה של הממשלה בחינוך ובהכשרת העובדים, יוזמות רבות בכיוון זה מגיעות מהציבור (בצורה של מרכזים עצמאיים או עמותות), או ישירות מהתעשייה.
- » מדינות רבות מנסות ליצור תשתית אקדמית ברמה גבוהה כדי למנוע 'זליגת מוחות' של אנשי המקצוע, אנשי המחקר והסטודנטים למדינות המבוססות יותר, כסין וכארצות הברית.
- » 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 הבינה המלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה החכמה.

◀ מיפוי סקטורים: הממשלה, האקדמיה, מערכת הביטחון והתעשייה בישראל

» ממשלה

משרדי ממשלה רבים פועלים על מנת לקדם נושאים הקשורים לבינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה. אחד הפרויקטים הבולטים הוא פרויקט ישראל דיגיטלית. זהו 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 עם משרד הבריאות, חינוך והשכלה דיגיטליים בשיתוף עם משרד החינוך, כלכלה דיגיטלית בשיתוף משרד הכלכלה ורווחה דיגיטלית בשיתוף משרד הרווחה והשירותים החברתיים ועוד.

במסגרת פרויקט בריאות דיגיטלית, שתקציבו עומד על מעל 900 מיליוני ₪ לחמש שנים, יגויסו טכנולוגיות מתחומים כמו בינה מלאכותית ומדעי הנתונים על מנת לשפר את בריאות כלל אוכלוסיית ישראל מחד ולמצב את הבריאות הדיגיטלית כמנוע צמיחה של המשק הישראלי מאידך. בין השאר מוביל משרד הבריאות, ביחד עם שותפים רבים במערכת הממשלתית והאקדמית, את המיזם הלאומי לבריאות מותאמת אישית - מיזם פסיפס, כדי לקדם את חזון הרפואה המותאמת אישית ובמקביל לאפשר יזמות ולקדם יצירת מקומות עבודה חדשים.

פרויקט בולט נוסף, המשותף למספר משרדי ממשלה, בהובלת משרד התחבורה הנו "התכנית הלאומית לתחבורה חכמה", המתוכננת לשנים 2017-2021 במטרה לעודד מחקר ופיתוח, יזמות ותעשייה בתחום התחבורה החכמה בישראל ולייעל את מערך התחבורה באמצעות עידוד שילובן של טכנולוגיות מתקדמות. תקציב הפרויקט המתוכנן הינו כמאתיים שלושים מיליון ₪.

משרד הכלכלה מקדם את התכנית האסטרטגית הלאומית לייצור מתקדם בתעשייה בעלות של עשרות מיליוני ₪. התכנית כוללת מענקי עידוד לחברות קטנות ובינוניות, הקמת המכון לייצור מתקדם ופעילויות חינוכיות לחשיפת הנוער לתעשייה מתקדמת. טכנולוגיות ייצור מתקדם כוללת שילוב מערכות מידע (ביג דאטה), רובוטיקה מתקדמת, הדפסת תלת מימד ושימוש בחומרים מתקדמים. תכניות מחקר ופיתוח גנרי טרום תחרותי (מגנ"ט) פועלות במסגרת רשות החדשנות במטרה לחזק את היתרון התחרותי הטכנולוגי ארוך הטווח של התעשייה בישראל. ב-2018 לא פחות מחמישה מאגדים המתחרים על כספי המענקים עוסקים בתחומים הנושקים לבינה מלאכותית, מדעי הנתונים או רובוטיקה חכמה.

משרד המדע והטכנולוגיה החליט על הקמת תכנית מענקי מחקר לעידוד ולחיזוק המחקר המדעי היישומי והמחקר ההנדסי, במטרה ליצור מסה קריטית של ידע וכוח אדם בתחומי בינה מלאכותית, רובוטיקה ומגה נתונים. עד כה פרסם המשרד מגוון גולות קוראים הנוגעים לתחומים הרלוונטיים. בנוסף, משרד המדע מקדם שיתופי פעולה רבים בתחום עם משרדים מקבילים במדינות השונות דוגמת הודו.

קרן ליברטאד של המוסד למודיעין ולתפקידים מיוחדים מתמקדת במחקר ופיתוח טכנולוגי של חברות פורצות דרך. הקרן תומכת בחברות הזנק במטרה ליצור תועלות הדדיות באמצעות שיתוף פעולה והחלפת ידע.

רשות התקשוב הממשלתי, המשמשת מרכז ידע ויועץ מקצועי בתחום התקשוב לממשלה, החלה לפעול על מנת לייעול מערך התקשוב ולקידום חדשנות טכנולוגית במשרדי הממשלה ויחידותיהם, להעמיד טכנולוגיות מתקדמות לשיפור השירות הממשלתי לציבור ולהפחתת הנטל הבירוקרטי ולפעול לקידום מדיניות של ממשל פתוח.

מיזמים נוספים שונים קיימים גם במשרד החינוך והתרבות, משרד הרווחה ומשרד הביטחון ועוד.

חוקרים

במיפוי שבוצע ע"י צוות המחקר על ידי חיפוש מילות מפתח בתוך תחומי העניין של כל החוקרים בפקולטות הרלוונטיות בכל האוניברסיטאות והמכללות בישראל, נמצאו כ-270 חוקרים בתחומי בינה מלאכותית, מדעי נתונים ורובוטיקה חכמה, כ-230 באוניברסיטאות וכ-40 במכללות. האוניברסיטאות הבולטות במספר החוקרים הן הטכניון ואוניברסיטת בן גוריון (כ-50% מהחוקרים באוניברסיטאות הם משני מוסדות אלו) והמכללות הבולטות במספר החוקרים הן המרכז הבין-תחומי הרצליה, מכון טכנולוגי חולון והמכללה האקדמית להנדסה על שם סמי שמעון (כ-50% מהחוקרים במכללות הם משלוש מוסדות אלו).

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.

תחומי העניין המובילים אצל החוקרים במיפוי הם:

- Machine Learning
- Artificial Intelligence
- Autonomous Systems & Smart Robotics

תחומי עניין נוספים הם:

Human-Computer Interaction, Natural Language processing, Computer Vision, Data Mining, Distributed Systems/Computing, Big Data, Multi-Agent Systems, Neural Networks, Reinforcement Learning.

תזות

בקטלוג המאוחד הישראלי של הספרייה הלאומית מקוטלגות 694 תזות לתארים שני ושלישי בתחומים הרלוונטיים לבינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה (למידת מכונה, ראיית מחשב, אינטרקציית אדם-מחשב, כריית מידע ועוד) בעשור 2007-2016. 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).

מסלולי לימוד

בדיקה שנערכה בכל האתרים של האוניברסיטאות והמכללות בישראל העלתה שקיימים עשרות מסלולים וקורסים לתארים ראשון ושני בנושאים הקשורים לבינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה. ניתן לחלק מסלולים אלו לשבעה תחומים עיקריים:

- מערכות מידע / מדעי הנתונים;
- בינה מלאכותית / למידת מכונה / מע' נבונות / מע' מבוזרות;
- ביו-אינפורמטיקה / קוגניציה / פסיכולוגיה בדגש לימודי מידע;
- מסלול משולב מע' נבונות / לומדות ומדעי המידע;
- רובוטיקה / מע' אוטונומיות;
- מסלולים כלליים ללא התמחות - מגוון קורסים;
- מסלולים כלליים - קורסים בודדים.

» 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. 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, יוצרים מציאות 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.

מהנדסי ומדעני נתונים ומידע יידרשו 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, ומספקת שפע של מידע. הסייבר והבינה המלאכותית מזינים אחד את השני, והסייבר הוא אחד ממנועי 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. הסולר 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 שינתב עבודה רבה לאזור, ומהווה משאב מחשוב חיוני ונגיש גם בעתות חירום.

מעבר לחשיבה שנעשית בצבא בתחומי התשתית הנדרשת, ישנן כיום בצבא מספר תכניות 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.

» תעשייה

נכון לתחילת חודש יוני היו בישראל כ-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 השיא – 2016, הוקמו כ-186 חברות. עשר חברות הוקמו בשנות התשעים, חברות שהן ותיקות בתחום ומעסיקות ברובן מעל 200 עובדים – NICE, RADCOM, Essence, G-STAT, Mobileye ועוד.

מטבע הדברים, מרבית החברות נמצאות בשלבים הראשוניים מבחינת גיוסי כספים. קרוב ל-64% מהחברות במאגר המידע נמצאות בשלב ה-Seed או Pre-seed, כ-25% מהחברות נמצאות בסבבי מימון (כ-16% בסבב A, כ-5% בסבב B וכ-4% בסבבי C+), ובהן חברות מובילות בתחום

ה-Digital Health & Medical Technologies כמו EarlySense ו-Medasense Biometrics, בתחום ה-Fintech & eCommerce כמו mySupermarket ו-Lemonade, בתחום ה-Security & Safety Technologies כמו Cybereason, בתחום ה-Software Applications כמו Cortica ועוד.

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 \$M714 ב-78 סבבים. שיא זה נשבר בחציון הראשון של שנת 2018 עם גיוסים של \$M773 ב-66 סבבי גיוס בלבד. הזינוק בגיוסי ההון מעיד על כך שהמונח בינה מלאכותית איננו עוד מילת 'באז'.

מדע וטכנולוגיה



מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית

טל. 04-8292329 | פקס. 04-8231889
קרית הטכניון, חיפה 3200003
www.neaman.org.il