

המיזם הלאומי למערכות נבונות בטוחות להעצמת הביטחון הלאומי והחוסן המדעי-טכנולוגי: אסטרטגיה לאומית לישראל

דו"ח מיוחד לראש הממשלה

חלק ב': דוחות צוותי המשנה
ורשימת משתתפי המיזם

ראשי המיזם: פרופ' יצחק בן ישראל | פרופ' אביתר מתניה
מרכזת המיזם: ליהיא פרידמן

אלול התש"פ | ספטמבר 2020

המיזם הלאומי למערכות נבונות בטוחות להעצמת הביטחון הלאומי והחוסן המדעי-טכנולוגי: אסטרטגיה לאומית לישראל

דו"ח מיוחד לראש הממשלה

חלק ב': דוחות צוותי המשנה
ורשימת משתתפי המיזם

ראשי המיזם: פרופ' יצחק בן ישראל | פרופ' אביתר מתניה
מרכזת המיזם: ליהיא פרידמן

אלול התש"פ | ספטמבר 2020

תוכן עניינים

חלק א - תמצית והמלצות - פרסום בחוברת נפרדת

דוחות צוותי המשנה.....65

1. דוח צוות טכנולוגיות בינה מלאכותית (AI) ומדע הנתונים (DS).....66

2. דוח צוות מערכות רובוטיות ואוטונומיות.....68

3. דוח צוות IoT וסנסורים.....71

4. דוח צוות בינה מבוצרת.....87

5. דוח צוות כח מחשוב וקוונטים.....90

6. דוח צוות מרכזי מחקר אקדמיים.....154

7. דוח צוות סייבר ומערכות נבונות.....168

8. דוח צוות אתיקה ורגולציה של בינה מלאכותית.....172

9. דוח צוות קשרי אקדמיה ותעשייה.....208

10. דוח צוות ממשל.....214

11. דוח צוות בריאות ורפואה.....228

12. דוח מכון וולקני לפרויקט לאומי בבינה מלאכותית בחקלאות.....237

13. דוח צוות תחבורה.....242

14. דוח צוות בינה מלאכותית לביטחון הלאומי של ישראל.....248

15. דוח צוות פינטק.....256

רשימת משתתפי המיזם.....260

המיזם הלאומי למערכות נבונות בטוחות להעצמת הביטחון הלאומי והחוסן המדעי-טכנולוגי: אסטרטגיה לאומית לישראל

דו"ח מיוחד לראש הממשלה

חלק ב': דוחות צוותי המשנה ורשימת משתתפי המיזם

כתיבה ועריכה:

פרופ' יצחק בן ישראל, ראש המיזם

פרופ' אביתר מתניה, ראש המיזם

ליהיא פרידמן, מרכזת המיזם

מסמך זה הוצא לאור בשיתוף סדנת יובל נאמן למדע טכנולוגיה וביטחון, אוניברסיטת תל אביב

<https://sectech.tau.ac.il>

עריכה גרפית ועריכת שער: שרית אריאלי

אלול התש"פ, ספטמבר 2020

ניתן להשתמש במסמך זה או בחלקים ממנו באופן חופשי בכפוף לאזכור המקור כדלקמן:

בן ישראל, י', מתניה, א' ופרידמן, ל' (עורכים). (ספטמבר 2020). המיזם הלאומי למערכות נבונות בטוחות להעצמת הביטחון הלאומי והחוסן המדעי-טכנולוגי: אסטרטגיה לאומית לישראל. דו"ח מיוחד לראש הממשלה.

Ben-Israel, I., Matania, E. & Friedman, L. (Eds.) (Sep. 2020). *The National Initiative for Secured Intelligent Systems to Empower the National Security and Techno-Scientific Resilience: A National Strategy for Israel. Special Report to the Prime Minister.*

דוחות צוותי המשנה

1. דוח צוות המשנה של המיזם הלאומי למערכות נבונות בנושא טכנולוגיות בינה מלאכותית (AI) ומדע הנתונים (DS)

בראשות פרופ' אמיר גלוברזון

1. מבוא

בינה מלאכותית היא תחום שמטרתו לפתח מחשבים שיגיעו ליכולות אנושיות במשימות שונות. לדוגמא הבנה של טקסט, הבנת תמונות ווידאו, הבנת דיבור, יכולת להסיק מסקנות ולגלות חוקים, לחשוב בצורה אסטרטגית ועוד. ברור שהיכולת לבצע משימות כאלו בצורה אוטומטית תוביל ליישומים רבים בהם יחליף המחשב את האדם, ואף יוכל לבצע את המשימה באופן טוב יותר (בגלל זמן עיבוד, זיכרון וכו'). בשנים האחרונות חלו התפתחויות דרמטיות בתחום, שהביאו ליכולות קרובות לאנושיות במשימות כמו זיהוי פנים, זיהוי דיבור, משחקי אסטרטגיה ועוד. הטכנולוגיה העומדת בבסיס יכולות אלו היא רשתות נירונים מלאכותיות, וידועה גם בשם למידה-עמוקה.

מרכזי הכח של המחקר בתחום נמצאים הן בתעשייה והן באקדמיה. לדוגמה בגוגל וכייסבוק יש קבוצות בינה מלאכותית גדולות המבצעות גם מחקר בסיסי וגם פיתוח עבור מוצרים. באקדמיה יש קבוצות מחקר גדולות במונטריאול, בטורונטו, ב-MIT ובברקלי.

הערה סמנטית חשובה: למידה עמוקה התפתחה מתוך התחום של למידה חישובית, ולא מתוך תחום ה-AI. על כן מרכז הכובד של המחקר בתחום הוא בכנסים כמו NeurIPS ו-ICML ולא בכנסי AI כמו IJCAI או AAAI.

2. ישראל

בישראל יש כמה קבוצות מחקר חזקות באקדמיה וגם חברות הפועלות בתחום. אולם יש לפעול על מנת לבסס חוזקות אלו, ולטפל בהיבטים חלשים יותר.

3. חוזקות:

א. פעילות אקדמית - ברוב האוניברסיטאות בארץ יש לפחות חוקר או חוקרת אחת הבולטים בתחום ברמה בינלאומית. לדוגמא יש כ-10 מענקי ERC שהוענקו לחוקרים בארץ.

ב. למידה חישובית תיאורטית - הבסיס המתמטי של תחום הלמידה הוא נושא מחקר חשוב, ויש חוקרים חזקים בארץ בתחום. מחקר בתחום נשען על יכולות מתמטיות המוקנות ברמה טובה ברוב מסלולי הלימודים בתואר ראשון בארץ ובתארים מתקדמים.

ג. ראייה חישובית - היכולת לנתח תמונות באופן אוטומטי היא אחת מההבטחות הגדולות של התחום, עם שימושים נרחבים, החל מנהיגה אוטונומית ועד שימושי אבטחה. בארץ יש חוקרים מובילים בתחום, וקורסים ברוב האוניברסיטאות. אך ניכר מחסור בחוקרים צעירים בתחום זה, ועל כן יש קושי לספק את הדרישות של תלמידי מחקר לתחום, ושל התעשייה לשיתופי פעולה ולבוגרים עם הכשרה בתחום.

ד. ידע ויכולות (בעיקר בתעשייה) בתחומי הרפואה הדיגיטלית, וכן הזדמנויות ייחודיות בתחום לאור מסדי הנתונים הגדולים והייחודיים הקיימים בקופות החולים, והכיסוי הרחב של המידע.

4. חולשות:

א. למידה עבור בקרה ולמידה מחיזוקים (רובוטיקה) - תחום מרכזי בנוף העכשווי והעתידי של למידה הוא למידה של פעילות אסטרטגית. כלומר ללמוד כיצד לפעול בסביבה משתנה שלפועל יש השפעה עליה. דוגמאות קלאסיות הן רובוטיקה, נהיגה אוטונומית, ומשחקים אסטרטגיים. זהו תחום מתפתח במהירות, אך בארץ אין כרגע ייצוג מספיק שלו באקדמיה, מה שמוביל להכשרה לא מספיקה של בוגרים, ולכן היעדר יכולת מספקת בתעשייה.

ב. ייצוג חסר באקדמיה - למרות המצוינות האקדמית שתוארה לעיל, קבוצות המחקר באוניברסיטאות עדיין אינן גדולות מספיק, בהשוואה למשל למונטריאול וטורונטו. בתחום יש צורך במסה קריטית של מחקר על מנת למשוך סטודנטים, לייצר בולטות בינלאומית ולפתח ידע. בנוסף, מיעוט אנשי הסגל יוצר מחסור בבוגרי תארים מתקדמים בתחום, הדרושים גם למחקר בתעשייה.

ג. בניית מערכות תוכנה גדולות עבור למידה - חסר ייצוג מספיק של תרומות לקוד פתוח, מומחיות של בוגרים בבניית מערכות לומדות על כמויות נתונים גדולות. מיקבול וכו' (אולי בין השאר בגלל מחסור בציוד מהסקלה הזו באקדמיה).

ד. מיומנות בבניית מערכות לומדות על מכשירי קצה - מערכות לומדות צפויות להיות מיושמות על מגוון מכשירי קצה, כגון ניידים ו-IOT. על מנת לממש מערכות כאלו נדרשות מיומנויות שאינן נלמדות מספיק באקדמיה.

ה. מיומנות בתחום יצירת נתונים מסימולציות - אחת ההבטחות הגדולות של התחום היא היכולת ליצור נתונים שיראו מאד דומים לנתוני אמת. לדוגמא יצור של סרטי ווידאו שנראים מציאותיים (DeepFake). תחום זה צפוי להיות משפיע מאד, ואין לו כרגע ייצוג מספיק בארץ.

ו. מיומנות במערכות היברידיות אדם + מכונה - ככל שיתפתח התחום נראה יותר אפשרות לאינטראקציות בין אדם למכונה (לדוגמא: דיאלוג בטקסט, דיאגנוזה רפואית משולבת אדם מכונה, מערכות יצור משולבות ועוד).

ז. תשתית לפרטיות של נתונים - אלגוריתמים לומדים זקוקים להרבה נתונים על מנת לבנות מודלים מדויקים. האתגר הוא שרבים מהנתונים הללו אינם ברשות הרבים בשל מגבלות פרטיות ובעלות על נתונים. עם זאת, קיימות טכנולוגיות המאפשרות גישה לנתונים כאלו ללא הפרת פרטיות (differential privacy, homomorphic encryption). יש חוקרים חזקים בתחום בארץ, אבל נדרשים חיזוק של קבוצות המחקר וריכוז של הידע על מנת להפוך אותו למרשם אפקטיבי לשיתוף נתונים.

ח. מתודולוגיית מחקר ופיתוח, התנסות וידע בניהול וביצוע מחקר יישומי בסטנדרט תעשייתי. בוגרים בתחומים הרלוונטיים מגיעים עם ידע תיאורטי נרחב אולם היכולת והניסיון הפרקטי שלהם נמוך ונדרשת הכשרה ארוכה בתעשייה (לפחות שנה) עד שהם מביאים ערך.

ט. עיבוד שפה טבעית בעברית - חוסר במסדי נתונים מתויגים, כלים, קוד פתוח והשקעה במחקר שמוקדש לתחום. זאת, לצד חוקרים צעירים מבטיחים בתחום.

5. המלצות

א. יצירת מנגנונים לחיזוק התחום (ובפרט עבור נושא הרובוטיקה) : תמריץ לשכירת אנשי סגל, מלגות דוקטורט וכוסט-דוקטורט, תמריצים לשיתוף פעולה עם תעשייה, ולקורסים באוניברסיטאות.

ב. יצירת grand-challenges בסגנון DARPA, תוך דגש על תחומים כמו רובוטיקה, ממשק אדם מכונה, וסימולציה שתוארו לעיל.

ג. חיזוק הצד ה-applied בלימודים האקדמיים, וכן חיזוק האפשרויות לשילוב לימודי תארים מתקדמים עם עבודה של הסטודנטים בתעשייה בתחום (הנחיה משותפת/ התמחויות-קיי/ משרות סטודנט חלקיות וכו').

ד. שילוב רב תחומי כדי להעשיר את הידע גם של סטודנטים שאינם מגיעים ממדעי המחשב, בתחומי ה-DS (למשל כמשתמשים בכלי DS, מנתחי מידע, מובילי ידע תחומי בעבודה סינרגית עם סטודנטים במדעי המחשב). דוגמאות לשילובים אפשריים - עם מדעי הרפואה, מנהל עסקים, ארכיטקטורת מחשבים, סייבר.

ה. השקעה ופיתוח של יוזמות קהילתיות ובין-תחומיות של קוד ומידע פתוחים, שעל גביהם ניתן לפתח גם יישומים מסחריים, וכן של מאמצים פתוחים להנגשה ולימוד של התחום (מסגרות חוץ אוניברסיטאיות שאינן פרטיות).

^[1] המיזם הלאומי למערכות נבונות בטוחות - חלק ב' דוחות צוותי המשנה ורשימת משתתפי המיזם | 67

^[2] המיזם הלאומי למערכות נבונות בטוחות - חלק ב' דוחות צוותי המשנה ורשימת משתתפי המיזם

2. דוח צוות המשנה של המיזם הלאומי למערכות נבונות בנושא מערכות רובוטיות ואוטונומיות

בראשות פרופ' קובי בורטמן

תקציר מנהלים

1. רקע

חזון הפעילות: העצמת חוסנה של ישראל כמעצמה מדעית-טכנולוגית בראיית הביטחון הלאומי הכלכלי והחברתי, והבטחת עתידה וחוסנה הלאומי של מדינת ישראל.

מטרת המיזם: להציב את ישראל בחמישייה המובילה של מדינות העולם בתחומי הליבה הטכנולוגיים, המשרתים את החזון והמטרה לעיל, בתוך כחמש שנים, ובעשירייה הראשונה בתל"ג לנפש בתוך כעשור.

2. התהליך שבוצע ע"י הצוות

א. מפגש 1 – מפגש התנעה

(1) הצגת המצב הקיים בארץ ובעולם:

א) קהילת הרובוטיקה והאוטונומיה האקדמית והחינוכית בארץ – אתגרים ועוצמות.

ב) חברות הזנק בארץ ובעולם.

ג) יכולות התעשייה הביטחונית הישראלית – יכולות ופערים.

ד) כיווני הרובוטיקה והאוטונומיה בעולם - אקדמיה ותעשייה.

ה) חינוך לרובוטיקה – כיוונים ופערים.

(2) חלוקה לצוותים:

א) אקדמיה – בהובלת פרופסור אמיר שפירא.

ב) צבא ותעשיות ביטחוניות – בהובלת סא"ל ראין גיטי.

ג) חברות הזנק ותעשייה – בהובלת ד"ר יהודה אלמליח.

ד) חינוך – בהובלת פרופסור אלון וולף.

ב. מפגש 2 – מפגש ניתוח SWOT בחלוקה לצוותים.

ג. מפגשים 3-4 – מפגשי ניתוח המלצות של כל אחד מהצוותים.

3. המוטיבציה והפוטנציאל

א. פוטנציאל כמעט אינסופי– אין שוק רובוטים, יש רובוטים שמשתלבים בשווקים שונים. החסמים הטכנולוגיים נשברים, השוק העולמי מצפה ומוכן לקליטת מוצרים רובוטיים בתחומים מגוונים כגון רפואה, חקלאות, תחבורה, תעשייה, רובוטים ביתיים ועוד.

ב. יתרונות כוח האדם הישראלי כהזדמנות לכניסה לתחום חדשני, מאתגר וטכנולוגי - גמישות מחשבתית, שאיפה מתמדת לשיפור, תעוזה וחוצפה לבדוק קונספטים חדשים. הרובוטיקה כתחום מולטי-דיסציפלינרי יוצר דרישה בכוח אדם מקצועי.

ג. ישראל היא "מעבדה" הקרובה לתעשיות ואקדמיות – אפשרות לפיתוח מהיר ולבחינת היכולות במתארים מבצעיים בשיתוף הלקוח – קבלת חוות דעת מהלקוח בזמן אמת.

ד. ההכרח הביטחוני כצורך מבצעי הולך וגובר המקדם את הפעילות בתחום. קיימת תשתית רובוטיקה צבאית בארץ. כתוצאה מפיתוח של למעלה מ-15 שנה בתעשיות הצבאיות השונות בארץ קיימים ידע, יכולות רבות, וניסיון רב. באמצעות מינוף ההשקעות בעולם הביטחוני נוכל להיות מובילים בעולם (בדומה לתחום המל"טים).

ה. נושא מפציע וחדשני עם פוטנציאל לבצע חיבורים בין האוכלוסיות השונות במדינה לאתגרים משותפים ותחרויות – ולבסוף מוביליות חברתית. השקעה רוחבית בנושא על מנת לאפשר מחקר, פיתוח, ניסויים בעולמות החינוך ולייצר שיתוף פעולה ושיתוף ידע בין גופים שונים וכמו כן רצף חינוכי החל מבתי הספר, דרך הצבא, לאקדמיה, ולהכשרות למקומות עבודה.

ו. הרובוטיקה הינה תחום מולטי דיסציפלינרי ויכולה להיות קטר מוביל של יכולות מערכתיות שלא נלמדות בפני עצמן ולחבר דיסציפלינות שונות (מכאניקה, מתמטיקה, פיסיקה, תכנות, שיווק, יזמות ועוד).

4. המלצות מרכזיות למימוש

א. תכנית מרכזית של "מערכת של מערכים" (SOS) הנוגעת בכל תחומי האוטונומיה

(1) **מוטיבציה** – העצמת העיסוק הלאומי בתחום הרובוטיקה תוך הגדרת יעד מוגדר של מערכת של מערכים רובוטיים. כיוונים אפשריים לדוג':

א) חקלאות רובוטית – כתשתית ארצית.

ב) ייצור תשתיות לאומיות באופן אוטונומי – סלילת כבישים.

ג) תכנית מרכזית ביטחונית המורכבת משכבות AI שונות.

ד) טכנולוגיות הכלולות בכלל ההצעות הנ"ל:

(2) **טכנולוגיות** (לדוגמה)

א) תנועה ותעופה אוטונומית מלאה A-B גנרית – ליבת מוח מבוזרת

ב) ביצוע משימות: לוגיסטיקה, הנדסה ומודיעין

ג) בטיחות

ד) קבלת החלטות מבוזרת להקתית

ה) ניווט מתקדם מדויק (גם לתווכים סגורים ובדיוק טוב מ-GPS)

ו) תקשורת וסייבר

ז) ניהול הרכבים ולהקות וממשק אדם להקה

(3) **שיתוף** בין התעשיות הביטחונית האזרחיות ואקדמיה

(4) **ארכיטקטורת Open source** – הגדרה/אימוץ תקנים וארכיטקטורות מובילות במשק

(5) **השקעות בפיתוח ישראלי והצטיידות לאומית מובטחת (משרדי ממשלה השונים).** משרד הביטחון וצרכי צה"ל כקטר טכנולוגי מוביל.

3. דוח צוות המשנה של המיזם הלאומי למערכות נבונות בנושא IoT וסנסורים

בראשות דב אוסטר

רקע

מיזם המערכות הנבונות עוסק בהכוונת המשק הישראלי למינוף ההזדמנויות בעולם ה-AI המתפתח.

מסמך זה מסכם את עבודת הקבוצה בתחום ה-Internet of Things והסנסורים בתוך המיזם. בראייתנו, קפיצת המדרגה בגל הנוכחי של AI קשורה במידה רבה לשפע המידע והדוגמאות הנגישים לאימון מערכות לומדות. להבנתנו, מאמץ ה-IoT יתרכז בייצור המידע הזה ע"י חישה מבוזרת בכמויות גדולות, בשירותים שניתנים לצרכנים באופן ישיר דרך המוצרים המקושרים ובאופן עקיף דרך המידע שנאסף ומנותח.

האינטרנט של הדברים – הגדרה

לטובת מסמך זה, האינטרנט של הדברים, או, IoT הוא מערכת מקושרת של חפצים (פשוטים או מורכבים) המשולבים אמצעי מחשוב, חיישנים ויכולת תקשורת מתקדמת ברשת המאפשרת איסוף ועיבוד מידע.

דוגמאות נפוצות ל-IoT הן "בתים חכמים" ו"ערים חכמות", שטחים חקלאיים המנטורים ומופעלים בעזרת רשת אלחוטית המקשרת בין חיישנים, מערכות השקיה, דישון ומערכות עיבוד מרכזיות וכדומה.

הגיון מסדר / קווים מנחים

תנופת ה-AI הנוכחית נשענת על התפתחות חומרה מתאימה (דגש על מעבדים גרפיים) וכוח חישוב משמעותי ובזול, גידול בנפחי, מהירות התקשורת ורמת השיהוי הנמוכה, גידול עצום בהיקף המידע הזמין ללימוד, והתפתחויות במחקר. ניתן לראות שתחומים בהם המידע זמין בכמויות גדולות כמו תמונות ו-וידאו (סגמנטציה, סיווג וכו'), טקסט ואודיו (תרגום בין שפות, זיהוי סנטימנט, תמצות, Text-to-Speech ו-Speech-to-Text) והחיבור ביניהם (תיאור מילולי של תמונות וסרטים) התפתחו והגיעו לביצועים מרשימים.

לעומת זאת, תחומים בהם המידע זמין פחות כמו התחום הצבאי-ביטחוני (לדוגמה, חוזי ממצלמות IR), מידע רפואי ומשפטי, מידע פיננסי, תחבורה, אנרגיה, בתים חכמים וערים חכמות, הרגלי צריכה (בשונה מדכוסי גלישה באינטרנט) התפתחו פחות. הסיבה לזמינות המידע הנמוכה היא פעמים רבות מגבלות פרטיות וחיסיון המידע.

אנו מזהים כאן הזדמנות בהקשר למיזם המערכות הנבונות בכלל ולתחום ה-IoT בפרט. השקעה וניהול נכונים של ישראל יכולים לאפשר יצירת אותם מאגרי מידע חסרים. בדרך זו, ותוך שימוש בתמריצים ורגולציה תומכת, ניתן להוריד את רף הכניסה למיזמים בתחומים האלו. מכיוון שנראה כי הצלחה בתחום קשורה בפתרונות המשפטיים-רגולטיביים של הנגשת המידע, ישראל תוכל לפתח בו יתרון יחסי. גוף המסמך מתאר את האתגרים והמלצות למענים.

שיטה

תהליך העבודה כלל מספר מפגשים של כלל חברי הצוות (כ-20 מומחים מתחומי דעת שונים המתקשרים לנושא הצוות) ועבודה פרטנית בקבוצות לפי הנושאים הבאים:

1. DATA – אפיון הבעיות, הצורך והצעת מענה למאגר נתונים שיהיה זמין לטובת פיתוח IoT. כולל נושאי פרטיות (אנונימיות, התממה) ואבטחת המידע, ותחום שדות הניסוי (ליצירת המידע ובדיקת מוצרי IoT, דוגמה M-city בדטרויט). כולל שאלות כמו האם ה-DB מונגש לכל חברה הפועלת בישראל? או רק לחברות מקומיות?

2. תקשורת – אפיון הבעיות, הצורך והצעת מענה. מהו הצורך בתקשורת להעברת המידע ממוצרי ה-IoT למאגרי המידע המרכזיים? איפה צפויות להיות בעיות וכיצד נוכל לתת להן מענה?

ב. תשתית ניסויים לאומית לתחום הרובוטיקה

1) **מוטיבציה:** העצמת המחקר הלאומי בתחום ה-AI, תוך הנגשת תשתית לניסויים וסימולציה למכוני מחקר ופיתוח, תשתית חינוכית מדעית-טכנולוגית למוסדות חינוך בארץ ובעולם, ותשתית תיקוף ואימות בטיחותי ופונקציונאלי לחברות פיתוח אזרחיות וביטחוניות.

2) **המטרה:** הקמת מעבדה לאומית בתחום האוטונומיה והרובוטיקה על מנת למצב את מדינת ישראל בחזית המחקר והפיתוח בתחום.

3) **תשתית סימולטיבית** המאפשרת הוכחת אמינות לאלגוריתמיקה לכרב"ם, יכולת תכנון הנדסי מתקדמת וחיזוי יכולות עתידיות. הגדרת ממשקים וארכיטקטורה של הסימולציה, מתן גישה לכל השחקנים הישראליים (או משתפי פעולה עם ישראל) לתשתיות תוכנה וספריות המודלים. סימולציה של:

א) רכיבי חישה – PRECEPTION.

ב) מודל רכב – קרקע / כטב"ם – אוויר / כשב"ם - מים.

ג) מנוע קבלת החלטות בארכיטקטורה אזרחית.

4) תשתית פיזית:

א) אתר לניסויים מערכתיים לתחום האוטונומיה – בחינת אוטונומיה בנסיעה ובמשימה, התמודדות עם מכשולים ואימות תוצאות הסימולציה. אתר זמין באופן שוטף לכל התעשיות לעבודה יום-יומית, כאשר יהיה ניתן לבדוק מערכות בסיווגים שונים, וחשוב מאוד לכלול לא רק כרב"ם אלא גם רחפנים וכל דבר אחר (מודל שדמה).

ב) אתר חינוכי וממוכשר להכשרות מורים ותלמידים, ביצוע פעילויות העשרה לתוכנית הלימודים ותחרויות בתחום, אפשרות למפגש בין תלמידים וגופים חינוכיים לבין מוסדות מחקר ותעשיות אזרחיות/ביטחוניות.

ג. חיבור תכניות הכשרה מבתי ספר ועד לאקדמיה ליצירת רצף הכולל ניסיון תעסוקתי בצבא:

1) הגדרת תכניות מצוינות לתחום ה-AI והרובוטיקה לעתודה אקדמית בצה"ל

א) דוגמת תלפיות, פסגות וכו' – תכנית לימודים מתואמת עם צה"ל.

ב) גיוס כוח אדם איכותי לתחום.

ג) הגדרת תקנים לתפקידים ייחודיים וייעודיים לרובוטיקה ואוטונומיה ואיושם על ידי בוגרי התוכנית.

ד. תהליך תקינה וביטוחות לרובוטיקה צה"לית

1) שילוב התעשיות הביטחוניות למודל תקינה אחוד!

2) בהובלת חברת ניהול שתרכז את התקן.

ה. הכשרת מורים – מרכז פדגוגי כמוקד ידע לנושא ויקשר בין אופן ההוראה לידע הטכני. שיגבש מסלול להגדרת והתאמת מורה ללימוד מיומנויות המאה ה-21 וה-STEM.

ו. הקמת מאגר מידע של חברות, חוקרים, ארגונים, גורמים למימון, תחרויות ופרויקטים בתחום בארץ.

3. מחשוב דל הספק וביצועים ותוכנות המרה לשימוש IoT – חלק מהמוצרים צפויים להיות קטנים מאוד, מנותקים מרשת החשמל וכו'. מהם כיווני הפיתוח הנדרשים? בדגש על יכולת השימוש של ישראל במוצרים קיימים (בהנחה שהשוק העולמי ישקיע הרבה בתחום הזה בלאו הכי). לדוגמה, שימוש בתוכנות המרה שמגישות את יכולות העיבוד של מעבדי Intel, Nvidia וכו'. לחילופין, האם יש ערך בכך שישראל תשקיע בפיתוח שבבים מתאימים תוצרת ישראל, ותעזור כך לתעשייה בארץ לפתח את התחום?

4. ארגוני - קידום הנושא מבחינה ארגונית: חממות טכנולוגיות, Media Lab, יצירת ערוצי השקעה כמו מו"פ סייבר דואלי לתחום ה-IoT, תמיכה רגולטיבית במיזמים בהשגת המידע והאישורים החוקיים הנדרשים, פיתוח והנגשת יכולות סימולציה ובדיקות.

5. יישומים ומקרי בוחן – בחינה מערכתית של מספר מקרי בוחן: רחפנים, בתים חכמים, רכבים אוטונומיים וסמי-אוטונומיים והמלצות על יישומים שונים בהם כדאי לקדם פיתוח IoT.

פוטנציאל ה-IoT ומאמצים דומים בעולם

לפי דרזנר ⁸⁰, כ-30% מהחברות הגדולות (Fortune 500) משקיעות בטכנולוגיות IoT וכ-50% נוספות מתכננות להשקיע בתחום בשנה הבאה. לפי ניתוח של מקינזי ⁸¹, היקף שוק ה-IoT בשנת 2025 יהיה בין 4 ל-11 טריליון דולר. הם מחלקים את הפיתוח והשימוש ב-IoT לשלושה:

1. חומרה מתאימה

2. איסוף המידע

3. השימוש בו ליצירת ערך עבור השוק

רוב הערך עד כה מגיע מ-IoT עסקי, מתעשיות שהרחיבו את היקף החיישנים המדווחים לאחור בתהליכי הייצור והעבודה, דבר שאפשר ניתוח של המידע, שימוש בו וייעול התהליכים בעזרתו. מסיבות רגולטוריות וטכנולוגיות השוק טרם התפשט רוב הערך עד כה מגיע מ-IoT עסקי, מתעשיות שהרחיבו את היקף החיישנים המדווחים לאחור בתהליכי הייצור והעבודה, דבר שאפשר ניתוח של המידע, שימוש בו וייעול התהליכים בעזרתו. מסיבות רגולטוריות וטכנולוגיות השוק טרם התפשט למגרש הלקוחות הפרטיים ולמרחב הציבורי. כמו כן, מעטפת ניתוח המידע והשימוש בתוכנות ליצירת ערך נמצאים עדיין בתחילת דרכם.

עם זאת, התפתחות יכולות אוטומטיות למיצוי מידע מוידאו ואודיו יחד עם גידול ביכולות העיבוד במחשוב הקצה (ב-Edge devices), ובהיקפי התקשורת (רשתות 5G וכדומה), ירידת מחירי החיישנים ומחירי אחסון המידע בענן הופכים את ה-IoT לאטרקטיבי יותר.

ארה"ב

בנובמבר 2018 עברה בקונגרס החלטת חוק "IoT Act"⁸² המטילה על שר המסחר והכלכלה באמצעות NIST (מכון התקנים) את לימוד תעשיית ה-IoT, בדיקה ויצירת תקנים, אופן השימוש המומלץ על ידי הסוכנויות הפדרליות וסמכויות שיפוט.

סין

סין משקיעה בתחום ה-IoT רבות ⁸³. מעריכים שמרבית הגידול במוצרי IoT המחוברים לרשת סלולרית (גידול של 56% ב-2017) נובע מהצמיחה בסין. הממשלה הסינית קבעה יעד של 600 מיליון מכשירים המחוברים בעזרת NB-IoT (תשתית תקשורת דלת הספק המיועדת ל-IoT שצפויה להחליף בסין את רשת ה-2G).

התמיכה והמעורבות הממשלתית באות לידי ביטוי במספר דרכים ⁸⁴:

1. הקלות מס על יצרנים בתחום ה-IoT (ועל תחום התוכנה והשבבים).

2. קרן מחקר ופיתוח המספקת מענקים והלוואות (ב-2014 הקרן חילקה 1.6 מיליארד דולר).

3. האצת תשתיות תקשורת: פריסת סיבים אופטיים, תקשורת סלולרית פס רחב ועידוד צריכת מוצרי מידע.

4. עידוד הקמת גוף תקינה לאומי ל-IoT ודחיפת הסטנדרטים שהוא מייצר בזירה הבינ"ל.

• בתחום הרכבים האוטונומיים⁸⁵ לדוגמה, תקשורת בין הרכבים על הכביש יכולה להועיל מאוד. בסין תקינת התקשורת בין המכוניות מונחית על ידי גוף ממשלתי ומחייבת את היצרנים השונים, בשונה מאירופה וארה"ב בה היצרנים צריכים להגיע להסכמה (תהליך ארוך יותר שעלול לעכב את כניסת הטכנולוגיה לשוק).

5. הקמת מועצת IoT בין-משרדית להכוונת המאמץ הלאומי.

• סין פרסמה ב-2015 את מדיניות "אינטרנט פלוס" בעזרתה היא מקדמת את החיבור של תעשיות מסורתיות עם האינטרנט.

6. הגדרת כ-200 ערים לפיילוט ערים חכמות.

7. גיוס מומחים מרחבי העולם לאוניברסיטאות, מכוני המחקר והחברות הסיניות.

האיחוד האירופי

האיחוד האירופי מכיר בחשיבות נושא ה-IoT כטכנולוגיה מרכזית ומנוע צמיחה כלכלי חשוב. האיחוד צפוי להשקיע כ-500 מיליון אירו במחקר ופיתוח בתחום.

תחת המסגרת של Horizon 2020, הוקם מיזם⁸⁶ לפיתוח פלטפורמות IoT הפועל במספר כיוונים. המרכזיים שבהם:

1. symbloTe: יצירת שכבת מידע משותפת למוצרי IoT כך שיוכלו לחלוק את המידע בצורה מאובטחת ולהנגיש אותו למפתחי יישומים שמשתמשים במידע הזה.

2. VICINITY ו-bloTope: תיאום בנושאי תקינה.

3. BIG IoT: פיתוח API גנרי ואחיד למוצרי IoT שיקל על פיתוח אפליקציות.

4. AGILE: פיתוח שער גישה מודולרי ואדפטיבי ברשת למוצרי IoT.

5. TagItSmart: פיתוח תגיות QR למעקב חכם אחרי מוצרים (מכל סוג).

ב-2015 הוקמה⁸⁷ Alliance for Internet of Things Innovation (AIoTI) שמחברת בין מיזמי IoT שונים ומקשרת בין יוזמות ומגזרי תעשייה שיוכלו להרוויח מהן.

האיחוד האירופי שם דגש על פתיחות ונגישות של הטכנולוגיות והפלטפורמות. החל מינואר 2017, האיחוד מקדם חמישה פיילוטים בקנה מידה רחב ובמימון של 100 מיליון אירו שמטרתם יצירת מרחב ניסוי ובחינה לטכנולוגיות IoT:

1. סביבות מגורים חכמות לאוכלוסייה המתבגרת

2. חקלאות חכמה וביטחון תזונתי

3. מחשוב-לביש

4. רכבים אוטונומיים

5. 11 ערים חכמות בפיילוט בהן מידע שנאסף במרחב העירוני נגיש למגזר הציבורי והעסקי כך שאלו יוכלו לפתח שירותים לאזרח מבוססי AI ו-IoT.

85 <https://www.sbs.com.au/news/china-s-roadmap-to-self-driving-cars, April 2016>

86 <https://IoT-epi.eu>

87 <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/alliance-internet-things-innovation-aioti>

80 IoT Intelligence© Market Study, Dresner Advisory Services, LLC, October 31, 2018

81 The Internet of Things: How to capture the value of IoT, McKinsey & Company, May 2018

82 H.R.6032 - SMART IoT Act, <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/6032>

83 <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2018/03/05/what-we-can-learn-from-china-about-iot>

84 <https://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/16531-China-IoT-Report-LR.pdf>

- לדוגמה, ניטור זיהום אוויר ברחבי העיר והתראה לאזרח ולעירייה, איסוף מידע מנסיעות אופניים במרחב לניטור בעיות תעבורה, מצב הכבישים וכו'.

במקביל, האיחוד שם דגש על אבטחת ופרטיות המידע והשקיע כ-40 מיליון אירו בכרויקטים בתחום זה.

לסיכום, נראה שעיקר הצעדים של האיחוד האירופי בתחום הם:

1. Enablers שיעזרו לשוק להתפתח כמו תקינה, נגישות המידע והשימוש בו (API גנרי, שכבת מידע משותף)
2. מרחבי ניסוי ובדיקה גיאוגרפיים
3. מחקר ופיתוח בתחומים של אבטחת מידע ופרטיות

עיקר הממצאים

1. לתחום ה-IoT פוטנציאל מסחרי בהיקף רב מאוד (שווי שוק צפוי של 11-4 טריליון דולר ב-2025 לפי דו"ח מקינזי).
2. רובו המוחלט של הפוטנציאל המסחרי ב-IoT אינו ממוצה, כך שהשנים הקרובות הן עיתוי מוצלח להשקיע בנושא כדי לקדם את ישראל להובלה בתחום.
3. שוק ה-IoT מתאים ליכולותיה של ישראל – נדרשת השקעה מועטה יחסית בתשתיות ולב העשייה מצוי בשילוב חומרה ותוכנה ייעודיים, תחום בו ישראל הובילה בעבר. כמו כן, רגישות ה-IoT לסייבר (תקיפת הרכיבים והרשת) והצורך בפתרון מערכתי הכולל אבטחת מידע מציבים את ישראל כמועמדת מובילה להנדסת מערכות כאלו.

עיקר ההמלצות לפי תחומים

בחלק זה מרוכזות ההמלצות לפי תחומים פרויקטאליים. ההמלצות כוללות חלקים רגולטוריים וחלקים תקציביים. אנו מעריכים כי התקציב הכולל של מימוש הנושאים להלן יעמוד על כ-200 משר"ח לשנה, על פני 3-5 שנים.

אנו ממליצים לבחון מודל מימוני מבוסס קרנות מו"פ בהן חלק (ואפילו רוב הכסף) מגיע ממשקיעים שאינם המדינה. עדיפות למודל השקעת מדינה על מנת לאפשר צמיחת יכולות בארץ לפני אקזיט מהיר מדי (מובילאיי כדוגמא).

אם ניתן, אנו מציעים לבנות את הפעילויות כתחרות בין 3-4 מתחרים בכל נושא. גיוון המשתתפים צפוי לאפשר לחוקרים מהאקדמיה להתחבר לנושא ולהתחרות בו על כספי הקרנות (ובכך לקצר את שלב חיפוש משקיעים וכו').

להערכתנו, ניתן לייצר סביבה נוחה למפתחי יישומים – על בסיס מדגמים קטנים יחסית - אלפים בודדים. הדבר יקל על רגולציה ומימוש הדגמות מהירות מחד, ויאפשר לחברות לבחון את המוצרים על בסיס קהל לקוחות גדול מספיק כדי להגיע לבשלות שתאפשר תחרות בשוק הבינלאומי.

1. ערים/שכונות חכמות

תעשיית ה-IoT בארץ זקוקה לניסיון מוכח בהטמעת מוצרים בשוק. כדי לאפשר זאת, נדרש מיקוד במספר שכונות / ערים הכולל:

- האצת פריסת תשתיות תקשורת G5 באזורים אורבניים צפופים אך קטנים.
- פריסת תשתיות סנסורים במרחב הציבורי והמידע מהן נאגר ומונגש לחברות הישראליות הרלוונטיות. סוגי המידע הנאגרים יכללו חוזי ממצלמות אבטחה עירוניות, מצלמות משטרה בדרכים, מצלמות עליות ומצלמות בתנועה (על כלי תחבורה ציבוריים), מידע על תפקוד תשתיות (תחבורה, מים, חשמל, תקשורת וכו')
- אגירת המידע נעשית בהתאם לנהלי אבטחת והתממת המידע המקובלים והמאושרים ע"י מערך הסייבר.

אנו ממליצים לאגד את החברות מספקות השירותים בקונסורציום של ספקי IoT ולקוחות (גופים ציבוריים ופרטיים שרוצים להיות early adaptors וליהנות ממחיר מופחת משמעותית) – הספקים יספקו את התוכנה והחומרה ל-IoT במחיר עלות, יחויבו בשיתוף המידע במסגרת הקונסורציום, וייהנו מיצירת לקוחות ממליצים, וירכשו ניסיון משמעותי בצרכי השוק בפועל.

מעריכים כי רישות וחישה אינטרנטית של שכונה יעלה כ-1,000 \$ למשפחה וידרשו כ-5,000-10,000 בתים משפחות ליצירת מדגים משמעותי (10-5 מ"ד).

2. בתים ואנשים חכמים

נתח משמעותי של שוק ה-IoT נמצא בבתים חכמים.

אנו ממליצים לרתום אוכלוסיית מתנדבים רחבה עם פיזור דמוגרפי לטובת פיתוח הטמעת מוצרים חדשים ("כוח חלוץ IoT" לאוכלוסיית שלבי אלפא ובטא בפיתוח המוצרים). אוכלוסייה זו תסכים באופן התנדבותי לחלוק את המידע הנאסף עליה בתמורה לתמריצים שונים (מסלולי "פרימיום" בשירותים מבוססי IoT, תשלום, הקלות מס, רווח עתידי בסגנון Headstart וכדומה).

מודל זה יאפשר שימוש במידע מגוון רב וימנע אפשרות לתביעה משפטית של אותם המתנדבים בהמשך ובכך יקל מאוד על פיתוח מוצרי IoT ושירותים המבוססים עליהם.

המידע הנאסף יגיע מסנסורי הסמארטפונים של המתנדבים וכן ממגוון מוצרי ה-IoT בבתיהם (מידע ויזואלי, שמע, תשתיות הבית כמו מים, חשמל ותקשורת ועוד).

אנו ממליצים לשים דגש (בעזרת מימון במסלולי הרשות לחדשנות ואחרים) על:

- סמארטפון כסוכן וכתב IoT – יישומים מגוונים (לדוגמה, רפואה אישית).
- פיתוח יכולת להתממשק למוצרים שלא נבנו מלכתחילה כ-IoT אך יכולים להתחבר לרשת בעזרת מתאם חכם כדוגמת, Nexar ו-Mobileye בתעשיית הרכב: מעקב ובקרה על רשת החשמל הביתית בעזרת "תקע חכם", סנסורים למקרר שיבקר על צריכת המזון בבית, מתאם למכונת הכביסה שיאפשר הפעלה מרחוק וכו'. ישראל אינה מייצרת את המוצרים "הכבדים", אבל יכולה להוסיף להם את ה-add-ons החכמים שישדרגו אותם.
- צה"ל יוכל (אולי) לשמש כפיילוט גם לתחומי אחזקה חכמה, ניהול בסיסים, אבטחת כניסה ושימוש ברשת תקשורת 5G – לאחר פתרון בעיית הסינוג הביטחוני.

3. בריאות אישית

בדומה לשוק הבתים החכמים, ניכר שיש פוטנציאל משמעותי למוצרי IoT העוסקים בבריאות "אישית".

אנו ממליצים על יצירת אוכלוסיית מתנדבים (כמו בסעיף הבתים החכמים) שתבחר לשתף את המידע הבריאותי הנאסף ממגוון מכשירי ה-IoT בהם נעשה שימוש (על בסיס טלפונים חכמים, שעונים חכמים, סוגי מחשוב לביש אחרים ומוצרים רפואיים בהגדרתם). המידע הרפואי יותמם לפי הנהלים המקובלים ויהיה נגיש. כך ייווצר מאגר מידע "עמוק" המכיל מידע שלא היה נאסף בדרך אחרת ויהיה משותף לכל העוסקים במחקר ופיתוח בארץ בתחום זה.

מאגרים אלו יחויבו עם מאגרי המידע הרפואיים של בתי החולים וקופות החולים לטובת יצירת תמונה שלמה ככל הניתן. על המדינה לספק את המעטפת הרגולטורית-משפטית שתמנע ניצול לרעה של המידע מחד ותביעות משפטיות של אוכלוסיית המתנדבים מאידך.

גם כאן חיילים עשויים לשמש כמודל נח , בהיבטי רגולציה וחשיבות הנתונים לתפקודם המבצעי.

4. ניידות כשירות

כפי שתואר בחלק שעסק בנושא זה, מסתמן שמודל ניידות כשירות (MaaS= Mobility as a Service) יוביל את מהפכת הרכבים האוטונומיים. כדי לאפשר לישראל לפתח שוק זה ולהפוך את התעשיות בארץ למובילות עולמיות, נדרשים:

- תמיכה משפטית ורגולטורית (התמודדות עם כשלים צפויים, תאונות דרכים וכו').
- שיתוף התשתית הנדרשת – הגדרת נתיבי תחבורה עבור רכבי MaaS בערי פיילוט ושיתוף נתוני התנועה וכן הרחבת תשתית אתרי הניסוי הייעודיים וימי ניסוי בכבישים ייעודיים אך אמתיים (לדוגמה, סביבה עירונית בה צפויה לפעול MaaS).

פרוייקט MaaS שמתחיל בת"א הוא דוגמה טובה אותה יש להרחיב. הדגש צריך להיות על יצירת סביבה תומכת ומאפשר ככל הניתן לשם פיתוח המוצרים כך שיוכלו להתחרות בשוק העולמי. על כן, עדיפה יצירת תשתית איכותית בעיר אחת על

פני תשתית חלקית בשלוש ערים שונות.

5. Homeland Security, הגנה על גבולות ותשתיות

ניכר כי קיים פוטנציאל רב ל- IoT בתחום ביטחון הפנים. אנו ממליצים על התנעת פרויקטים בתחום – בחירת מספר ערים בהן קיימת תשתית סנסורים אותם ניתן להפוך "לחכמים" ע"י הוספת יכולת עיבוד וחיבורם לרשת (ערים אלו יכולות להיות אותן "ערים חכמות" בהן ירוכזו המאמצים שתוארו לעיל). תחת תפיסת Safe City כזו, יבוצעו אנליטיקות ווידאו על כל המידע המגיע מהמצלמות הפרוסות בעיר (כולל מצלמות ניידות על שוטרים), כך שבמקרה של אירוע בטחוני או בטיחותי הדורש התערבות תיווצר התראה בזמן קצר מאוד (עשרות שניות) לכוחות המשטרה / כיבוי אש / מד"א וכו'.

מידע מסנסורים נוספים על תשתיות העיר, מצב התנועה, הרעש, זיהום האוויר וכו' ינותח גם הוא במשולב עם המידע הוויזואלי יצירת תמונת מצב מתעדכנת בזמן אמת.

נושא גבולות והגנה על מתקני תשתית – שיתוף פעולה בין מערכת הביטחון לחברות ההזנק – יוכל לסייע בקידום יכולות אל מול שוק גדול ומתפתח.

6. הורדת חסמים ואימוץ טכנולוגיות

ישנם מספר חסמים שנדרש לפתור כדי לקדם את ישראל בתחום ה- IoT.

- יצירת פלטפורמה ממשלתית נוחה שתוכל לשמש את הגופים והארגונים השונים שידרשו / יבחרו לשתף את מאגרי המידע שלהם. פלטפורמה זו תעמוד בסטנדרטים הראויים של אבטחת המידע ותשתמש בנהלי ההתממה המאושרים כדי לעמוד בדרישות הפרטיות.

- יצירת אקו-סיסטם תומך בין השחקנים השונים בשוק – לכך מספר פתרונות.

- i. יצירת קונסורציום חברות המשתפות מידע ומוכרות קרוב למחירי עלות (כנזכר לעיל) ומקבלות בתמורה את כלל המידע, האפשרות להשתתף בפרויקטים השונים ולצבור ניסיון בעבודה בשטח עם לקוחות.

בהשאלה מתחום התעשיות הביטחוניות הישראליות, ניתן לטעון כי הצלחתן נובעת בין השאר מכך שהמציאות הישראלית והשימוש של צה"ל בפיתוחים של התעשיות מהווים חותמת איכות (QA) מבוססת ניסיון בשטח. כדי לייצר QA דומה עבור תעשיית ה- IoT נדרש ניסיון מוכח בעבודה "בשטח" מול לקוחות אמיתיים. קונסורציום החברות שתקים המדינה יגשר בין החברות לניסיון בשטחי הניסיון תוך עידוד שיתוף פעולה באמצעים הנ"ל.

- ii. טיפול פרטני עבור נושאים מסוימים – לדוגמה, מיקום בתוך מבנים, מבוסס WiFiLocation (מפורט בחלק הרלוונטי).

- ישנו קושי בייבוא דוגמיות של מוצרי IoT ובמיוחד רכיבי תקשורת לארץ (נדרשים אישורים מקיפים של משרד התקשורת וכו'). החסם מקשה מאוד על חברות קטנות להתחבר לשוק העולמי. נדרש לקדם פתרון רגולטורי לייבוא הנ"ל ברמת דוגמיות (לא לטובת מכירה).

- נדרש שיפור בהליך קבלת אורחים מחו"ל בתחום ההייטק (ובפרט בתחום ה- IoT). נראה כי תהליך הכניסה לארץ והבידוק הביטחוני המקיף אותם עוברים הנכנסים בשערינו מרתיע את אנשי העסקים והטכנולוגים שרגילים לתנאים טובים בהרבה. נדרש פיתוח ערוץ הכנסת אורחים מתאים (בדומה לאלו בהם משתמשות חברות גדולות ומשרד הביטחון במשלחות אירוח) שיהיה זמין לכל החברות בתחום שעובדות עם אוכלוסייה זו.

ממליצים לקדם תקינה אחידה עבור מוצרי IoT. מתפתחים כיום טכנולוגיות ופרוטוקולים מתחרים עם כמה מובילים (לדוגמה, LWM2M⁸⁸). ייתכן שהחלטה רוחבית על אימוץ פרוטוקול מסוים יסייע לשוק הישראלי לשתף פעולה ויאץ את שלבי הפיתוח (כל זמן שלא התייצב מעמדה של טכנולוגיית תקשורת ופרוטוקול מסוים כסטנדרט העולמי).

7. מחשוב קצה

השקעה משמעותית בפיתוח היכולת בארץ (חומרה ותוכנה ייעודית של ישראל יתרון מוכח ומשמעותי בפיתוח מוצרים משולבים

https://en.wikipedia.org/wiki/OMA_LWM2M 88

תכנה חמרה) ורגולציה על הייצוא (העדפת שימוש מקומי על פני ייצוא) - 10 מיליון דולר לפעילות, עד 50 מ"ד.

8. תקשורת

במסגרת הפרויקטים הנ"ל מומלץ על השקעה בתקשורת G5 בערים/שכונות חכמות. עם זאת, שיפור יכולות העיבוד על גבי הסנסור בקצה תביא לכך שתידרש מעט תקשורת ופתרונות דוגמת LPWA עשויים להיות טובים דיים. תקשורת LPWA עשויה להיות פשוטה יותר מ-G5 ותתאים לשווקים הבינלאומיים בהם פריסת סלולר דור חמישי תקרה רק בשלב מאוחר יותר, ולכן צפוי שפיתוחים ישראליים בתחום יזכו לשוק נרחב.

9. חיבור תעשיות Low-tech לסטרטאפים ותעשיות עתירת ידע בתחום ה- IoT

תמריצים כלכליים לחיבור בין תעשיות (כמו מגנט⁸⁹).

תחומים בהם נדרש להשקיע

חמשת התחומים בהם התמקד הצוות מנותחים לפי הסדר הבא:

1. תיאור הקיים, כיווני פיתוח עתידיים והפוטנציאל הכלכלי (אם רלוונטי).

2. פערים וחסמים להשגת יעדי הפיתוח בארץ.

3. המלצות.

להלן פירוט עבודת הצוותים ממנה נגזרו ההמלצות הפרויקטאליות שהופיעו לעיל.

Data

תיאור הקיים, כיווני פיתוח עתידיים והפוטנציאל הכלכלי (אם רלוונטי)

מאגרי מידע ממשלתיים - במסגרת החלטת ממשלה 1933 מתאריך 30.8.16 ("שיפור העברת המידע הממשלתי והנגשת מאגרי מידע ממשלתיים לציבור"), הוחלט להנגיש מאגרי מידע ממשלתיים לציבור, באחריות המשרדים ובהובלת רשות התקשוב הממשלתית. במסגרת הפעילות בוצע מיפוי של כל מאגרי המידע הקיימים והנגשתם לציבור תוך שמירה על נושא פרטיות וחיסיון מידע רגיש. במסגרת תכנית העבודה יונגשו כ-1000 מאגרי מידע עד 2020. ניתן להתרשם מהמאגרים הקיימים כיום באתר הממשלתי: <https://data.gov.il>.

מאגרי מידע רפואיים – רוב המאגרים מקושרים וקיימת "ברירת מידע". בשלב זה המערכת לא נגישה לציבור הרחב. מבוצע לצורך פיתוחים וחדשנות בתחום הרפואה.

במאמר של ⁹⁰Mohammadi et al התפרסמה רשימה של 25 מאגרים ציבוריים של נתוני IoT, רובם בתחומים של אנרגיה, בתים חכמים, ערים חכמות ותחבורה. מדובר בד"כ במאגרים קטנים יחסית (כגון נתונים של בית חכם אחד) שנבנו לצרכי מחקר אקדמי ועברו התממה ברמה כזו או אחרת.

להערכת הצוות, אגירת המידע הנאסף ממוצרי IoT בהיקפים גדולים, ניקוי ותיוג המידע (data cleaning and annotation) והנגשתו לצרכי מחקר ולפיתוח שירותים (תוך שמירה על אבטחת המידע ופרטיות) יוכל לקדם משמעותית את התחום בארץ.

לישראל נקודת פתיחה טובה בעולם ה- AI וה- Big Data. הנגשת מידע כנ"ל תוכל לעזור בפיתוח הטכנולוגיות כדי לבסס את המשק הישראלי כמוביל בניתוח המידע הנאסף ממוצרי ה- IoT ויצירת ערך מהתובנות שבו.

⁸⁹ <http://www.economy.gov.il/Publications/Publications/Pages/magnet.aspx>

⁹⁰ Mohammadi, M., Al-Fuqaha, A., Sorour, S., & Guizani, M. (2018). Deep learning for IoT big data and streaming analytics: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(4), 2923-2960. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8373692>

כמו כן, לישראל יתרון יחסי בעולם הגנת המידע ואבטחת מערכות. ניתן להניח שעם התפתחות תחום ה-IoT תצמחנה חברות אבטחת תוכנה שיעסקו בהגנת המוצרים והרשת. עבודה קרובה וצמודה של החברות יכולות לשחרר את חסם האבטחה ולעזור ל-IoT להתקדם מהר יותר. עידוד ממשלתי יועיל.

פערים וחסמים להשגת יעדי הפיתוח בארץ

1. אתגרים בתחום הפרטיות - אנונימיזציה פשוטה אינה יכולה למנוע זיהוי מחדש של חלק מהנתונים באמצעות הצלבה של מספר מקורות מידע. נדרש אימוץ רוחבי של נוהל שיאפשר שמירה על פרטיות תוך הנגשת מירב המידע (privacy-utility trade-off): רמת פרטיות גבוהה של נתוני האימון עשויה לפגוע באיכות המודלים של למידת מכונה). ניתן להיעזר ב- General Data Protection Regulation in European Union.

2. פתרון רגולטורי לכך שהרבה מהמידע המצולם במרחב הציבורי העירוני מגיע ממצלמות אבטחה ודרכים במסגרת הסכם ליסינג שעשוי להגביל או להערים קשיים על קבלת כלל המידע באופן חופשי.

3. אתגר נוסף הוא אימות ותיקוף המידע הנאסף. שלב זה לרוב הכרחי בעבודה עם מאגרי מידע מגוונים, ולכן נדרש שיהיה חלק מתהליך יצירת מאגרי המידע והשמשתם. עם זאת, אימות ותיקוף דורשים היכרות עם המידע ומנגנוני האיסוף ולכן דורשים כ"א מיומן בכריסה מתאימה.

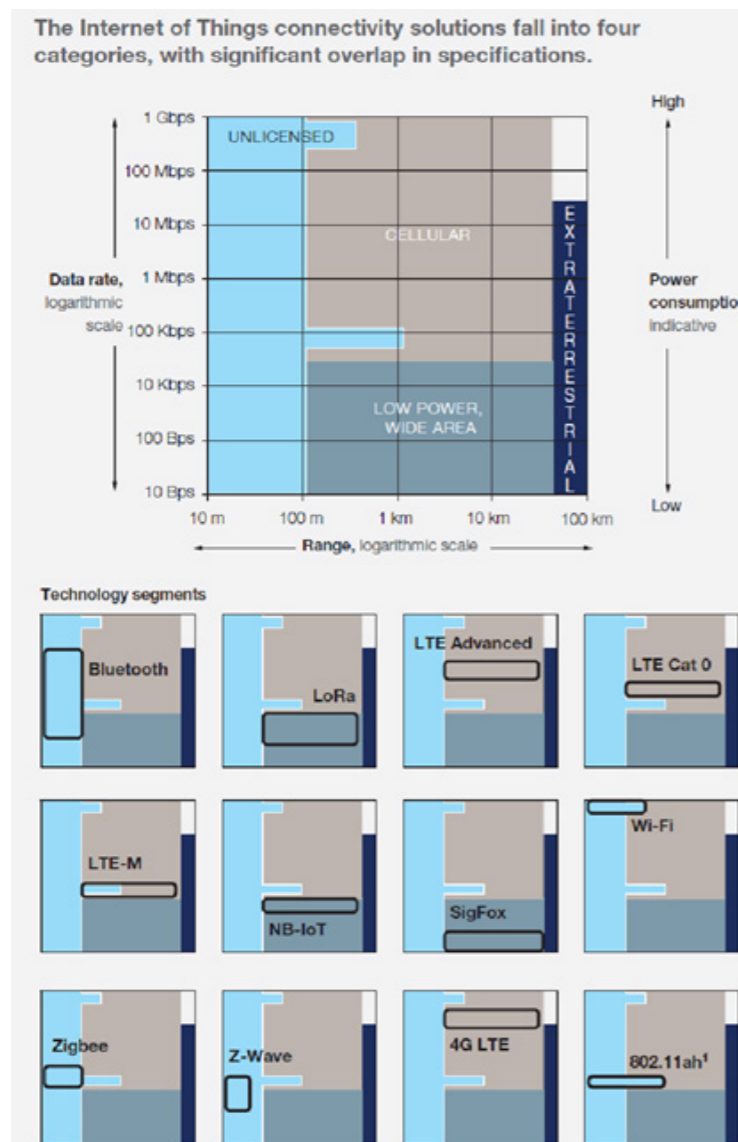
4. אנו ממליצים על יצירת פלטפורמה ממשלתית שתוכל לשמש את הגופים והארגונים השונים שידרשו / יבחרו לשתף את מאגרי המידע שלהם. פלטפורמה זו תעמוד בסטנדרטים הראויים של אבטחת המידע ותשתמש בנהלי ההתממה המאושרים כדי לעמוד בדרישות הפרטיות.

5. יש לבחון את סוגיית אימות ותיקוף המידע הנאסף ולהתייחס לנושא בעת הגדלת והעמקת מערכי איסוף ואגירת המידע.

תקשורת

תיאור הקיים, כיווני פיתוח עתידיים והפוטנציאל הכלכלי (אם רלוונטי)

העולם מאמץ פרוטוקולי תקשורת שיתמכו ב-IoT ומתפתחות טכנולוגיות תקשורת מתאימות. כיוונים מובילים הם רשתות LPWA (Low Power Wide Area) וסלולר 5G (וכן 4G LTE advance). רשת G5 מהווה מועמד מוביל מכיוון שפותרת חסמים הן בתחום נפח התקשורת וסימטריית ה-uplink וה-downlink והן בהתאמת הפרוטוקול וארכיטקטורת התקשורת ל-IoT (לדוגמה, רשת 5G מספקת עד מהירות נתונים של עד 3Gbps בהשהיות קטנות מ-1ms Latency).



המלצות

1. אנו ממליצים על הרחבת מערך איסוף המידע ואגירתו. להלן פירוט סוגי מידע שכדאי לאסוף:

- ויזינט – חוזי ממצלמות אבטחה עירוניות, מצלמות משטרה בדרכים, מצלמות עיליות (רחפנים וכו') ומצלמות בתנועה (על כלי תחבורה) ותיג המידע לטובת פיתוח יכולות אוטונומיה לרכב, רובוטיקה, רחפנים וערים חכמות.
- אודיו מתומלל היטב - לטובת פיתוח יכולת Speech2Text לשימוש בבתי חכמים, רכב, סמארטפון וכדומה. תשתית בעברית תוכל לעזור בפיתוח יכולות לשפתנו (אבל לא רק עברית מכיוון שזהו שוק זעיר).
- מידע רפואי – הן בבתי חולים וקופות חולים והן בחיי היומיום של "אוכלוסיות פגיעות" שירוויחו מתשומת הלב: קשישים וילדים.
- מידע על תפקוד תשתיות (תחבורה, מים, חשמל, תקשורת) וגבולות (ביטחון) – הנגשת מידע על מצב שגרה ותקלות / חריגות משגרה לטובת פיתוח יכולת חיזוי, ייעול והגנה על תשתיות. לדוגמה:

- נתוני תקשורת IoT ברמת בתים חכמים, רשתות מקומיות, כלי תחבורה וכו' - לצורך פיתוח שיטות וכלים בתחום הסייבר.
- נתוני צריכת אנרגיה ברמה של מונים חכמים (smart meters) ומכשירים חכמים (smart appliances) - לצורך פיתוח שיטות וכלים לחיזוי ותכנון של צריכת החשמל.
- נתוני תנועה ותחבורה - לצורך פיתוח שיטות וכלים לבקרת תחבורה וגם עבור פיתוח יישומים ביטחוניים.

2. מעבר לסוגי מידע אלו שמגיעים ברובם מהמרחב הציבורי, אנו ממליצים על איסוף מידע מהמרחב הפרטי באופן התנדבותי (כולל תמריצים בצורת הקלות מס, קבלת שירות "פרימיום" וכדומה).

3. אבטחת המידע:

- נדרש אישור נוהל אבטחת מידע והתממת מידע שניתן יהיה להחיל על מאגרי המידע הרבים הנוספים שיצטברו בעת כניסתנו לעידן ה-IoT.

i. ראוי להיעזר בנעשה כיום במאגרי המידע של משרדי הממשלה - מבוצעת ועדת התממה ע"י רשות התקשוב הממשלתית במשרד האוצר. והנושא נתמך ע"י מס' מאסדרים מרכזיים: הרשות להגנת הפרטיות, רשות התחרות (לשעבר ההגבלים העסקיים), תקינה מקצועית (GDPR CCPA וכו') וחוקים ודינים (דיני תחרות, נזיקים, זכויות יוצרים, חוק המחשבים, דיני חוזים וכו').

Technology	Frequency	Data Rate	Range	Power Usage	Cost
2G/3G	Cellular Bands	10 Mbps	Several Miles	High	High
Bluetooth/BLE	2.4Ghz	1, 2, 3 Mbps	~300 feet	Low	Low
802.15.4	subGhz, 2.4GHz	40, 250 kbps	> 100 square miles	Low	Low
LoRa	subGhz	< 50 kbps	1-3 miles	Low	Medium
LTE Cat 0/1	Cellular Bands	1-10 Mbps	Several Miles	Medium	High
NB-IoT	Cellular Bands	0.1-1 Mbps	Several Miles	Medium	High
SigFox	subGhz	< 1 kbps	Several Miles	Low	Medium
Weightless	subGhz	0.1-24 Mbps	Several Miles	Low	Low
Wi-Fi	subGhz, 2.4Ghz, 5Ghz	0.1-54 Mbps	< 300 feet	Medium	Low
WirelessHART	2.4Ghz	250 kbps	~300 feet	Medium	Medium
ZigBee	2.4Ghz	250 kbps	~300 feet	Low	Medium
Z-Wave	subGhz	40 kbps	~100 feet	Low	Medium

להערכת הצוות, למדינת ישראל אין ערך מוסף ייחודי לפיתוח הנושא מכיוון שישנם גופי תקינה מרכזיים בעולם שמכתיבים את הסטנדרט העולמי (IEEE, ITU, 3GPP/5GPP, IOTA) וחברות ענק (Cisco, Ericsson, Nokia) שמאמצות את הסטנדרט ובכך מכתיבות אותו ומדינת ישראל קטנה מכדי להשפיע.

ישראל נמצאת בכיגור ביישום טכנולוגיות תקשורת עבור IoT כגון השימוש ב- NB-IoT ונראה שישראל לא תהיה בין המדינות הראשונות לאמץ את דור 5G.

גם בפריסת סיבים אופטיים ברחבי המדינה ישנו עיכוב, והתשתית הקיימת לא תוכל לתמוך בגידול המסיבי בביקוש לתעבורה. חיבור יכולות מחשוב קצה איכותיות ודלות הספק לתשתית תקשורת מפגרת ידגים את היכולת והיתרון הישראליים.

במערכת הביטחון יש צורך בחיישנים פזירים אלחוטיים – ושת"פ השקעות והדגמות יועיל למערכת האזרחית והצבאית.

פערים וחסמים להשגת יעדי הפיתוח בארץ

נפח התקשרות עשוי להיות צוואר-בקבוק. עידוד ספקיות התקשורת המרכזיות לקדם פריסת סולר דור חמישי ו-LPWA יכול לפתור את הבעיה לטובת קידום השימוש ב-IoT בארץ.

דגש חשוב יותר מבחינת מטרת הצוות, הוא קידום פיתוח הטכנולוגיות ויכולת החברות הישראליות להשתלב ולהוביל בשוק ה-IoT העולמי. לשם כך חשובה יותר פריסת רשת 5G איכותית באתרי ניסוי נגישים בהם תוכלנה חברות ישראליות להשתמש ברשת כדי לפתח טכנולוגיות IoT הנשענות על התשתית הזו. דוגמה לאתר כזה כיום היא אוניברסיטת בר-אילן.

המלצות

- קידום פריסת 5G וטכנולוגיות עוטפות מול ספקיות התקשרות והאצת הפריסה במספר אתרי "פיילוט" בהן חברות ישראליות תוכלנה להתבסס על התשתית בפיתוח מוצרים וטכנולוגיות.
- בחינת המלצה על אימוץ פרוטוקול תקשורת IoT שיקל על התעשייה בארץ לעבוד יחד ולרכוש ניסיון בעבודה עם לקוחות (בהנחה שאם ברבות השנים יאומץ פרוטוקול תקשורת אחר, ניתן יהיה להמיר אליו בקלות)⁹¹.

מחשוב קצה

תיאור הקיים, כיווני פיתוח עתידיים והפוטנציאל הכלכלי (אם רלוונטי)

יכולת הסקה (inference) על גבי הפלטפורמה (IoT Edge-device) חוסכת את שליחת כל המידע לאחור לענן / שרת המרכזי. לכך מספר יתרונות:

- מגבלות רוחב הפס של התקשורת עשויות להקשות או למנוע את שליחת כל המידע.
- הקטנת עלויות אחסון המידע.
- הקלה מבחינת מגבלות קצב העברת המידע ובעיית ה-latency: זמני התגובה הנדרשים ברמות השונות (לדוגמה, תפעול רכב או רחפן אוטונומי ותגובותיו לסביבה המשתנה).

אנו רואים בשנים האחרונות רגולציה הולכת וגוברת על יכולות AI ובכך גם יכולות המחשוב התומכות "AI Chipset" (כפי שהתפרסם לאחרונה⁹²). רגולציה הולכת ומתהדקת סביב טכנולוגית AI עלולה לפגוע בנגישות למרכיבים טכנולוגיים חיוניים, (לדוגמה עבור ציוד צבאי) וכן לכגוע בתחרותיות. בנוסף, שימוש בטכנולוגיה חיצונית עלול ליצור בעיית Security (סוסים טרויאנים, -back doors וכדומה).

ישראל הובילה בעבר גם בפיתוח חומרה מבוססת סיליקון (Disk-on-key וכו'). אפשר לעודד את התעשייה בכיוונים האלו בארץ, או לפחות לתמרץ את הענקיות העולמיות לפתוח כאן מרכזי פיתוח כדי שהידע יהיה קיים בארץ ותיווצר קרקע תומכת לחברות ישראליות שיקומו בזכות הידע הזה.

כמו כן, בעוד שלישראל עשוי להיות קשה בפיתוח פלטפורמות גדולות כמו רכבים אוטונומיים, היא עשויה להצטיין בפיתוח Add-ons לאותם המוצרים (דוגמת Mobileye, OrCam, Nexar). כמו כן, ישראל יכולה להתמקד בפיתוח תוכנה מותאמת (דלת דרישות- גודל, משקל, הספק, כוח חישוב) שתרוץ על החומרה הייעודית.

פערים וחסמים להשגת יעדי הפיתוח בארץ

סוגיה שעלתה בדיונים היא פלח השוק הרלוונטי בעולם ה-IoT אליו כדאי לכוון. נטען כי אופי התעשיות בארץ אינו מותאם לתחרות בפיתוח מחשוב קצה זול מאוד (דולרים בודדים או פחות ליחידה) ומתאים יותר למוצרים של עשרות או מאות דולרים ליחידה (מעבדים של אינטל, מערכות מובילאיי וכו'). השונות הטבעית בשוק ה-IoT מאפשרת מיקוד בתחומים מסוימים, אותם כדאי יהיה לשקול בהמשך בהתוויית דרכי הפעולה והתמריצים.

המלצות

- פיתוח מחשוב-קצה בארץ: חומרה ותוכנה דלות הספק, משקל וכוח חישוב על ידי תמרוץ החברות הגדולות להקמת ולהרחבת מרכזי פיתוח בארץ.
- יש לפתח יכולת עצמאית בישראל לייצר אלמנטים טכנולוגיים חיוניים למחשוב קצה – חומרה (כולל מעגלים משולבים) ותוכנה. לדוגמה, פיתוח עצמאי של ליבה/ליבות לעיבוד deep learning.
- יש להנגיש תשתיות טכנולוגיות הכרחיות לחברות הזנק בתחום – לדוגמה מאגרי נתונים לצורך אימון רשתות נירונים (כפי שנידון בפרק DATA), כלי תוכנה וכו'.
- יצירת תכנית מימון ממשלתית (לדוגמה, במסגרת הרשות לחדשנות) לחברות ישראליות על מנת למנף ולעודד את המחקר והפיתוח בתחום מחשוב הקצה וכן יצירת פלטפורמות תשתיות שישרתו את התעשייה הישראלית בתחום.

91 מעבודת הצוות נראה כי LWM2M – Light Weight Machine to Machine הוא מועמד מרכזי כפרוטוקול כזה.

92 <https://www.c4isrnet.com/it-networks/2018/11/20/to-maintain-tech-edge-us-seeks-export-controls-on-ai>

תיאור הקיים, כיווני פיתוח עתידיים והפוטנציאל הכלכלי (אם רלוונטי)

העיסוק ב- IoT בארץ ברמה הממשלתית אינו מרוכז ומכוון, אלא מבוזר בין המשרדים והרשויות השונות הנוגעות בנושא. מסקירת הנעשה בעולם, נראה כי סין, אירופה וארה"ב הקימו גופים שמכוונים, מסנכרנים או מנהלים את העשייה בתחום.

ניכר שיש השקעה רבה בתשתיות ובבניית כוח אדם מתאים ובמימון מחקר ופיתוח התחום.

היכולת של ישראל לממן מחקר ופיתוח מוגבלים ביחס לשחקנים גלובליים כמו סין, ארה"ב ואירופה. עם זאת, אנו רואים מספר יתרונות שיכולים לשחק לטובתה של ישראל:

1. "בריכת הכישרון" הישראלי גדולה וניתנת להשפעה והכוונה במידה רבה יותר ממדינות אחרות בזכות הגיוס לצבא חובה. רוב בני הנוער נבדקים ונבחנים טרום גיוסם ומנותבים לתפקידים בהם ייתרמו וייתקמו. מצב זה מאפשר מודלים ייחודיים של פיתוח כ"א טכנולוגי איכותי שיתאים לשוק ה-AI וה-IoT.
2. רוח ההתנדבות בחברה הישראלית גבוהה, ישנה נכונות לאמץ טכנולוגיות חדשות ו"חרדת הפרטיות" קטנה יותר באופן משמעותי מאשר באירופה ובארה"ב. שילוב זה מאפשר יצירת קבוצות משתתפים גדולות לניסוי/פייילוט לשלבי אלפא/בטא של פרויקטים בתחום ה-IoT שיקלו מאוד על פיתוח מוצרים ושירותים.
3. ישראל היא מדינה קטנה בה "כולם מכירים את כולם" וקל יחסית לייצר חיבורים בין חברות וארגונים מתחומים שונים.

פערים וחסמים להשגת יעדי הפיתוח בארץ

אחד האתגרים בפיתוח IoT הוא יצירת אקו-סיסטם תומך בין השחקנים השונים בשוק. בניית סביבה מאפשרת הפותרת בעיות של כשלי שוק או בעיות רגולטוריות תקדם את המחקר והתעשייה בארץ ללא השקעה ממשלתית ישירה. נביא כאן שתי דוגמאות עליהן נרחיב גם בפרק מקרה הבוחן.

1. מידע מיקום מדויק בתוך מבנים ובסביבה אורבנית- מיקום הנו אחד הפרמטרים המכרשים החזקים ללימוד הקשר והנו שימושי ביותר למערכות AI ונדרש גם להשמת מערכות בעלות ניידות עצמונית, ולתפקוד בחרום.

a. AI: לדוגמה, אם אדם נמצא בחדר כושר מן הסתם הוא בעניין הקשור לאימון גופני, ב"ח - בעניין בריאות וכו'. יש גם עניין למפעילים ובעלי המקום לקבל מידע סטטיסטי ("מפות חום") על תנועת מבקרים. לדוגמה, בעלי סופרמרקט או קניון יתעניינו לדעת מסלולי הליכה ונתונים על שהייה וצפיפות.

b. שימושיות למערכות ניידות יכולה להיות קשורה לחינוכים תת-קרקעיים או לתנועה רובוטית.

c. בחרום מידע מיקום מאפשר לאנשים להתפנות בבתחה במקרה שריפה או רעידת אדמה ומאפשר לכוחות הצלה לאתר נפגעים.

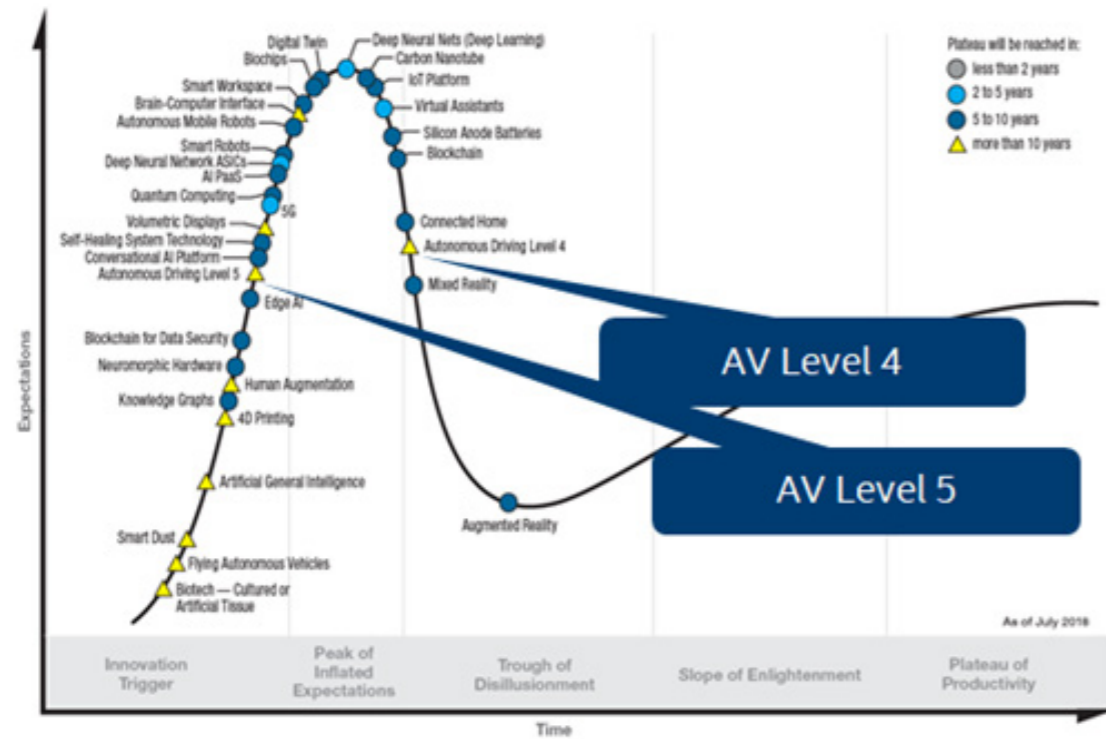
כיום מידע מדויק בתוך מבנים ובסביבה אורבנית אינו קיים ו/או נגיש והסיבה אינה טכנולוגית (היום יש טכנולוגיות לקבלת מיקום בזול ברמה של 0.1-1 מטר, למשל WiFi Location⁹³).

הסיבה הנה "מאבק על השליטה בנתונים" בן חברות מערכות ההפעלה (גוגל, אפל ומיקרוסופט), חברות התשתית (סיסקו, ארובה-HP, וכו') ובעלי המקום (מפעילי קניון או רשת סופרמרקט). בעיות נוספות הקשורות לאקו-סיסטם הם שמירה על פרטיות.

הממשלה או פרויקט לאומי יכול לפתור את הבעיות הנ"ל ולפתוח את החסם בישראל - נרחיב בפרק מקרי הבוחן.

2. מערכת ניידות כשירות - כניסה של מערכות נהיגה אוטונומית לחיי היום יום של כל אדם בארץ או בעולם הנו תהליך שיקרה בסיכוי גבוה, אבל אין ספק שייקח זמן ויהיה ממושך בגלל אתגרים תרבותיים, רגולטורים, טכנולוגים ואתגרי עלות.

Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018



gartner.com/SmarterWithGartner

Source: Gartner (August 2018)
© 2018 Gartner, Inc. and/or its affiliates. All rights reserved.

Gartner

אנו רואים שתי גישות בעולם לחלוציות בתחום: האחת הובלה טכנולוגית ברכבי הפאר (היכולים לאפשר הוספת טכנולוגיה בשווי של מכונית ממוצעת) והשנייה ניידות כשירות. פרויקט ניידות כשירות (MaaS - Mobility as a Service) כבר מתקיים בת"א בשיתוף בין מובילאיי, ממשלת ישראל, עיריית ת"א וחברת פולקסווגן⁹⁴. הסיבות לכך שפרויקט ניידות כשירות צפוי להוביל את עולם הנהיגה האוטונומית הם הבאות:

a. מונית רובוטית ללא נהג יכולה להחזיר את ההשקעה בהוספת AV kit.

b. ישנן פחות בעיות עיצוב (אפשר על הגג, שרתים בתא המטען וכו').

c. מסלול קבוע וניתן לפתור בקלות בעיות בשלב ההטמעה כי השונות הסטטיסטית היא הרבה יותר קטנה.

d. מפעיל מרכזי שנותן את השירות ומשתלם לו כלכלית להשקיע במיזם.

ממשלת ישראל התחייבה לתמוך בפרויקט בשלושה תחומים עיקריים: מתן תמיכה משפטית ורגולטורית, שיתוף התשתית הנדרשת ונתוני התנועה ומתן גישה לתשתיות לפי הצורך. פרויקט לאומי יכול להאיץ בהנגשת מסלולים וערים לטובת ניידות כשירות ולמנף את MaaS לרמה לאומית.

<https://cars.walla.co.il/item/3197127>, <https://www.businesswire.com/news/home/20181029005630/en/Volkswagen-Mobility-Champion-Motors-Invest-Israel-Deploy> 94

<https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-location> 93

המלצות

- התייחסות ליצירת אקו-סיסטם תומך ופתרון סכסוכים על מידע ותשתיות - ראו הרחבה בפרק מקרי הבוחן.
- רתימת אוכלוסיית מתנדבים רחבה עם פיזור דמוגרפי לטובת פיתוח הטמעת מוצרים חדשים ("כוח חלוץ IoT" לאוכלוסיית שלבי אלפא ובטא) – מבוסס סמארטפון ובהמשך אולי בתים חכמים (ייתכנו תמריצים). הדגש הוא ביצירת מנגנונים שמנגישים את המידע שנאסף ע"י בידול המידע והתממתו ומודלים של הסכמת האוכלוסייה לשימוש בו (במודל של תשלום, הקלות מס, רווח עתידי בסגנון Headstart וכדומה) תוך מניעת אפשרות לתביעה משפטית בהמשך.
- משיכת מספר חוקרים מובילים ברמה עולמית לאקדמיה ולמרכזי המחקר בארץ תחזק את האקו-סיסטם החיובי של תעשייה-אקדמיה. הנגשת המידע תיצור תמריץ לאותם החוקרים ולמיזמים בתחום. בשילוב עם הנגשת כ"א איכותי "בקבוצות ביטחוניות" במרכזי מחקר (ייתכן שתחת מסלול צבאי בו בני-נוער מוכשרים כעובדים בפרויקטים בעלי חשיבות למערכת הביטחון בתוך קבוצות ביטחוניות בחברות בתחום ה-IoT ובאקדמיה).
- הרחבת שטחי ניסוי לעיר חכמה ולרכבים אוטונומיים (לדוגמה, תמיכה והאצת פרויקט MaaS שכבר מתחיל בת"א- ראו הרחבה במקרי בוחן, ובפרויקט חיפה כעיר חכמה ומוגנת).
- מימון ותקצוב מחקר ופיתוח בתחום ה-IoT במסלולי הרשות לחדשנות.
- הקמת ועדה בין-משרדית לתיאום והכוונת המאמץ בפיתוח ה-IoT בארץ.
- פתרון רגולטורי לייבוא ציוד IoT ברמת דוגמיות (במיוחד מוצרי תקשורת).
- שיפור קבלת אורחים מחו"ל בתחום הייטק.

יישומים ומקרי בוחן ל-IoT

בפרק זה אנו סוקרים שתי דוגמאות ליישומי IoT ומפרטים כיצד התערבות ותמיכה ממשלתית צפויים לקדם את פיתוחם.

מבנים חכמים

הגדרה: בהקשר של מסמך זה המושג מבנים חכמים מתקשר למבנים בעלי שימוש ציבורי או פרטי המערב מספר רב של אנשים למטרה מסוימת, להבדיל מבתים פרטיים או אף מגדלי דירות. דוגמאות למבנים כאלה: משרדי ממשלה, בתי חולים, עיריות, שדות תעופה, בתי חולים, קניונים, סופרמרקט, מפעלי תעשייה וריצפת יצור.

התקני IoT : לצורך העניין, התקנים במבנה חכם הם בעלי כושר חישה (למשל טמפרטורה, מיקומי אנשים, סוג פעילות וכדומה), בעלי יכולת פעולה על הסביבה (הצגה על מסך, שינוי טמפ', הודעה קולית, תקשורת קווית ואלחוטית, תנועה במרחב וכדומה) ובעלי יכולת תנועה.

לטובת מיקוד הדוגמה, נשתמש ביכולת פלטפורמית אחת, נבחן את יישומה ואת התרומה המתקבלת. במקרה זה נדון באפשרו מיקום בתוך מבנים ובסביבה אורבנית באמצעות WiFi Location.

סטטוס הטכנולוגיה: WiFi Location מתוקנן ע"י WFA, נתמך ע"י יצרני הרכיבים וכן ע"י גוגל אנדרואיד בצורה מלאה וע"י אפל ומיקרוסופט בצורה חלקית. חלון הזדמנויות – שילוב עם פריסת WiFi 802.11ax. יכולות דיוק מ-50 ס"מ ועד 3 או 4 מ' (תלוי בגיאומטריה של כל מקרה), ובמסגרת זו- יכולת זיהוי קומה.

חסמים קיימים: מפות, פרטיות ומאבק שליטה במידע.

חזון: יצירת פלטפורמת מיקום במבנים חכמים שתאפשר תועלת לציבור (נווט אנושי, נווט אוטונומי, הגשת עזרה במקרי חירום, מיעוט פשיעה וכו'), הנגשת המידע למערכות AI (קפיצת מדרגה בנושאי זיהוי הקשר וניתוח Patterns). כמו כן, קידום המחקר ע"י יצירת "באז" והנגשת הפלטפורמה לאקדמיה וחברות הזנק לטובת שיפור יכולות המיקום, יצירת אפליקציות חדשות, יצירת תחומים חדשים לחדשנות בתחום ה-AI ועוד.

פתרון החסמים:

- מפות: יצירת המפות אפשרית באמצעות LIDAR (למשל מיפוי הכְּנַסַת ע"י https://www.cogniteam.com) או בהשמשת מידע ממפות אדריכליות (פתרון זול מאד).
- מפות זמינות: נגישות למפות יכולה להיעשות באמצעות אפליקציה ייעודית למבנה (לא יעיל במיוחד), אפליקציה כללית ומבנה נתונים (חלק משרותי הפלטפורמה) או ע"י יצרני מערכות הפעלה ו/או חברות התשתית. בכל האפשרויות העלויות הן מאד נמוכות והחלטה סופית ע"י מנהלת הפרויקט.
- פרטיות והנגשת מידע: כאן נדרשת פעולה ברמה הלאומית להסדרת אבטחת המידע, שמירה על הפרטיות וכללי הנגשת המידע. זהו מרכיב הערך העיקרי אשר יוצר את הנוכחות הפלטפורמית ומבדל ברמה הלאומית.
- מאבקי שליטה במידע: ייפתר ע"י סעיף "3" לעיל. מספר דרכים והצעות לקידום ויצירת מערכת אינטרסים תומכת באקו-סיסטם:
- a. חיוב פריסות חדשות במבני ממשלה לכלול את תכונת ה-WiFi Location כתקנה מחייבת (פריסת 11ax כחלון הזדמנות) וכמובן שיתוף מידע עם הפלטפורמה.
- b. פריסת WiFi במרחב העירוני תחויב בתכונת המיקום ושיתוף המידע כתקנה לאומית.
- c. הקלות כלכליות (מיסוי) לפורסים תכונת מיקום ומשתפים את המידע בפלטפורמה.
- d. יחסי ציבור ויצירת כנסים בשיתוף עם האקדמיה.

ניידות כשירות (MaaS)

הגדרה: בהקשר של מסמך זה המושג ניידות כשירות מתייחס להסעת המונים ע"י כלי רכב אוטונומיים. דוגמאות: מוניות, מיניבוסים, אוטובוסים, רכבת קלה וכו'.

התקני IoT : לצורך העניין ההתקנים במקרה זה אלו הרכבים האוטונומיים בשילוב עם הפלטפורמה הכוללת המאפשרת את הניידות כשירות: רגולציה, מסלולים, הטמעה, הפעלה, תמחור וכו'.

לטובת מיקוד הדוגמה, נשתמש ביכולת פלטפורמית אחת, נבחן את יישומה ואת התרומה המתקבלת. במקרה זה נדון בפרוייקט MaaS בת"א ⁹⁵.

סטטוס בארץ: ממשלת ישראל התחייבה לתמוך בפרויקט בשלושה תחומים עיקריים: מתן תמיכה משפטית ורגולטורית, שיתוף התשתית הנדרשת ונתוני התנועה ומתן גישה לתשתיות לפי הצורך. הפרויקט הושק ומצפים למסחור מלא ב-2022.

משרד התחבורה הוא הגורם המתכלל את כלל הפעילות של שטחי הניסוי לפיתוח יכולות אוטונומיה ברכבים. במטרה ליצור פלטפורמה תחרותית ביחס לעולם וייחודית לישראל. לשם כך, המשרד עמל על שדרוג והקמת שדות ניסוי כחלק מהתוכנית הלאומית לתחבורה חכמה:

- כיום פועלים מרכזי ניסויים בכביש 6 צפון (מנהרת רכסים) ונתניה.

- בשנת 2018 בוצעו בכביש 531 כ-150 ימי ניסוי עם מאות ניסויים בהשתתפות חברות רבות כמו GM, Nexar, Valerann ועוד.
- מרכז ניסויים פלמחים: החל מימוש 40 ימי הניסויי שבהסכם ביניים.

משרד התחבורה מאשר גם ניסויים בשטחים ציבוריים לאחר ביצוע הליך בדיקה באגף הרכב והממונה על התעבורה.

חסמים קיימים: טכנולוגיה, כלכלה, רגולציה, הטמעה, התמודדות עם כשלים והרחבה לפריסה לאומית.

^[1] 95 https://www.thecar.co.il/%D7%A4%D7%95%D7%9C%D7%A7%D7%A1%D7%95%D7%95%D7%90%D7%92%D7%9F-%D7%9E%D7%95%D7%91%D7%99%D7%9C%D7%90%D7%99-%D7%95%D7%A6%D7%9E%D7%A4%D7%99%D7%95%D7%9F-%D7%9E%D7%A7%D7%99%D7%9E%D7%95%D7%AA-%D7%9E

4. דוח צוות המשנה של המיזם הלאומי למערכות נבונות בנושא בינה מבוזרת

בראשות יואב רוזנברג

מסמך זה יפרט בקצרה את מסקנות צוות המשנה "בינה מבוזרת" במסגרת המיזם הלאומי בנושא מערכות נבונות. המסמך יתאר בקצרה את הגדרת ותחולת המושג "בינה מבוזרת" ("Distributed Intelligence") ויתאר את ההמלצות המרכזיות שעשויות לבסס יתרון למדינת ישראל בתחום זה.

חשוב להדגיש כי בניגוד לתחומי האחריות של צוותי משנה נוספים, המושג "בינה מבוזרת" הוא היחיד שאינו מוגדר היטב. הגדרת המושג היתה חלק מרכזי מעבודת הצוות, ורק לאחר מכן ניתן היה לעסוק בהמלצות בהקשר הישראלי. חברי הצוות ביקשו להגדיר "בינה מבוזרת" כיכולת הנדרשת לשתף תובנות בין מחשבים ובין אנשים, או במילים אחרות היכולת לייצר תקשורת אינטליגנטית בין מכונות לבין בני אדם ובין מכונות לבין עצמן. הרבה מאד מהעיסוק באינטליגנציה מלאכותית מתמקד כיום ביצירת תובנות ממידע (דאטה) גולמי, באמצעות אלגוריתמים שמחפשים קורלציות או אנומליות בדאטה היסטורי בתחומי ידע שונים. להבנתנו, כמעט ולא מתקיים כיום עיסוק ביכולת לחלוק תובנות אנושיות וממוכנות כדי לקדם את החשיבה אודות בעיות סבוכות בתחומי הידע השונים (מדעיים, רפואיים, עסקיים). במובן זה, "קפיצת מדרגה" ישראלית בהבנת התחום ובקיודמו יכולה לאפשר יתרון ברור על פני מדינות אחרות שכבר מקדמות כיום ממדים שונים של "אינטליגנציה מלאכותית" במובנה המקובל והסטנדרטי (למשל יכולת מחשוב חזקות ומתקדמות, מציאת קורלציות במידע רפואי דיגיטלי, או שיטות מתקדמות להיתוך מידע גולמי).

אחת הדוגמאות הפשוטות לצורך ביכולת "בינה מבוזרת" מגולמת בעובדה שבעתיד נרצה שמכשירים שונים יערכו חישובים שונים ויציפו תובנות על בסיס מידע גולמי שנאסף ביחידות הקצה (למשל ב"אינטרנט של הדברים", IoT). לא ניתן יהיה טכנית להעביר את כל המידע הגולמי למקום מרוכז בשל מגבלות אחסון ורוחב פס ובשל הרצון לגבש את התובנות בזמן מהיר יותר. לפיכך כל מכשיר קצה יצטרך לבנות מודל משל עצמו ולהעביר למנגנון מרכזי את התובנות החשובות ביותר. אפשרות זו מחייבת יכולת לבנות פרוטוקול תקשורת שבו חולקים מחשבים שונים תובנות ברמה קוגניטיבית גבוהה יותר מזו שמתאפשרת כיום. יכולת כזו לתקשר תובנות צריכה לטפל גם בבעיות פרטיות וסודיות של מכשירי הקצה. היכולת לחשב ולהפעיל מודלים על דאטה מבוזר, תחייב ככל הנראה גם יכולת הצפנה חדשנית בה ניתן להפעיל מודלים שונים על דאטה גולמי מבלי לחשוף את המידע עצמו (הצפנה הומומורפית).

דוגמא עמוקה יותר וחשובה יותר נוגעת לתקשורת בין בני אדם למחשבים ולאופנים השונים בהם בני אדם מבינים דברים ומחשבים מחשבים דברים. בני האדם מקדמים את ההבנה שלהם לגבי העולם באמצעות טיעונים ובאמצעות השאלה "למה?". סיבתיות היא מבנה בסיסי בהבנת האדם את סביבתו. לעומת זאת, מחשבים עוסקים כיום בעיקר בסטטיסטיקה (קורלציות או אנומליות). לבני אדם יש קושי מובנה בהבנת מושגים סטטיסטיים, כפי שהראו כהנמן וטברסקי במאמריהם הרבים. היכולת לגשר על הפער בין ההבנה האנושית לתובנות הממוחשבות היא אתגר קריטי בדרך ל"אינטליגנציה מרחיבה".

במובן זה, ראוי אולי לאמץ טרמינולוגיה שמקובלת כיום גם בחברת IBM וגם בחברות מתקדמות אחרות בתחום הביג-דאטה, כמו פלנטרי: אין מדובר בנסיון לבנות "אינטליגנציה מלאכותית" ("Artificial Intelligence"), אלא ברצון להאיץ את החשיבה האנושית באמצעות שילוב מחשבים בתהליכי ההבנה והחקירה האנושיים. כלומר מדובר ב"אינטליגנציה מרחיבה" ("Augmented Intelligence")⁹⁷.

הצוות גם הגדיר במה לא עוסק המושג "בינה מבוזרת": איננו עוסקים ב"חישוב מבוזר" כשלעצמו, כלומר ביכולת לחלק משימה חישובית לכמה מחשבי קצה ולרכז את תוצאות החישוב במקום אחד. יכולת זו הינה יכולת חשובה, אך עוסקים בה כבר שנים רבות ואיננו רואים צורך לשים דגש על נושא זה כדי לממש את מטרת המיזם כולו - לקדם את היתרון התחרותי של ישראל בתחום האינטליגנציה המלאכותית. במובן זה, חלק גדול ממה שמוגדר במדעי המחשב כ"בינה מבוזרת" איננו חלק ממה שהצוות ממליץ לעסוק בו⁹⁸.

חזון: יצירת פלטפורמת ניידות שתאפשר תועלת לציבור (תחבורה ציבורית זמינה 24/7 במחיר שווה לכל נפש וכו'), פיתוח מערכות AI וסנסורים (פיתוח מצלמות, רדארים, ולידר למכוניות בעלות יכולות מתקדמות ומחיר נמוך וכן פיתוח גוף המחקר והידע לשימושי AI לרכבים אוטונומיים).

פתרון החסמים:

1. טכנולוגיה וכלכלה – זו פעילות של הסקטור העסקי והאקדמי. פרויקט MaaS הוא זרז בהינתן הנמכת חסמים ביורוקרטיים.
2. רגולציה, הטמעה, והתמודדות עם כשלים - ממשלת ישראל כבר התחילה לפעול בכוון זה. ברם, כשלים ובעיות שלא נחזו מתרחשים בד"כ בפרויקטים מסוג זה. נדרשת נחישות ומתן סביבה תומכת לפרויקטים מסוג זה – לנוסעים ולהולכי רגל שעלולים להיפגע בשלבי הפיתוח והפעילות של MaaS (אם יהיו) וכן ליזמים ולסקטור העסקי.
3. הרחבה לפריסה לאומית – בד בבד עם התקדמות הפיילוט בת"א נדרשת הרחבה ברמה לאומית ואולי אף סיוע להרחבה ברמה הגלובלית. הרחבה שכזו דורשת יישום של ניסיון נרכש כדי שההרחבה תהיה פשוטה ומשתלמת יותר עם כל שלב חדש וכל תוספת.

המלצות הנוגעות למקרי הבוחן

1. יצירת פרויקטים כדוגמת אלו שתוארו כאן ובסעיף הארגוני בהקשר של מבנים חכמים ו-MaaS בכדי לפתוח צווארי בקבוק באקו-סיסטם ולהאיץ תהליכי הטמעה תוך שימת דגש על ההיבטים הפלטפורמיים. פרויקטים כאלו צריכים לשלב את ההיבטים הבאים:

- הגדרת יעדים ותועלות בצורה ברורה.
 - שינויים בתהליכים ורגולציה בכדי לאפשר שימושים חדשים.
 - יצירת פלטפורמה לשיתוף והנגשה של מידע.
 - תמרוץ משתמשים ומערך עסקי להטמיע התקני IoT וסנסורים חדשניים עם חיבור מוגדר לפלטפורמה השיתופית.
 - עידוד וידוע של חברות הזנק ואקדמיה לגבי קיום פלטפורמה שיתופית והחזון הכולל.
 - יחסי ציבור ושווק.
2. קידום הגנה על רחפנים ורכבים אוטונומיים מפני התקפות סייבר.

המלצות בנוגע ליישומי IoT אחרים

1. חיבור תעשיות Low-tech לסטרטאפים ותעשיות עתירת ידע בתחום ה-IoT: תמריצים כלכליים לחיבור בין תעשיות (כמו מגנט⁹⁶).
2. פיתוח תחום מוצרי ה-Add-ons לשדרוג מוצרים קיימים: רכבים ובתים חכמים - להתממשק למוצרים שלא נבנו כ-IoT (למשל, מוביליי, נקסר, מעקב ובקרה על רשת החשמל הביתית בעזרת "תקע חכם").
3. סמארטפון כסוכן ונתב IoT – יישומים מגוונים (לדוגמה, רפואה אישית).
4. מוצרי AR (מציאות מאוגברת) – OrCam, google glass וכדומה. למשל, צילום מקיף של אירועי ספורט ושילוב VR לצפייה מהבית.

⁹⁷ https://www.youtube.com/watch?v=G7E62Kvl_h4
⁹⁸ <https://www.informationweek.com/big-data/ai-machine-learning/its-about-augmented-intelligence-not-artificial-intelligence/a/d-id/1331460>
https://en.wikipedia.org/wiki/Distributed_artificial_intelligence חלק מהתכנים בערך זה נוגעים יותר לחישוב מבוזר.

לאור האמור לעיל ממליץ הצוות למקד את העיסוק המחקרי והמסחרי בישראל בתחומים הבאים:

א. יעד לאומי

אנו ממליצים לבחור יעד לאומי מלהיב בתחום "אינטליגנציה מלאכותית" שירתום את כלל העוסקים בתחום במדינה אל מול יעד שאפתני. הדוגמא המוכרת ביותר בהקשר זה היא החלטתו של הנשיא קנדי לשגר אדם לירח, שסחפה אחריה אומה שלמה ואפשרה לרתום משאבים עצומים להגשמת החלום הלאומי הזה. בהקשר זה אנו סבורים שיש מספר רעיונות מתחומים שונים (בריאות, תחבורה וכדומה) שיכולים לרתום את החברה הישראלית לעיסוק בתחום. אנו מעוניינים להציע שני רעיונות כאלה בתחום "הבינה המבוזרת" ו"האינטליגנציה המרחיבה":

ישראל יכולה להציב לעצמה יעד לבניית מחשב שתוך כעשור יוכל לעבור מבחני הסמכה במקצועות אנושיים סבוכים שמחייבים שילוב של יכולת מדעית עם פרשנות אנושית. כך, אפשר לחשוב לדוגמא על בניית מחשב שיוכל תוך עשור לעמוד במבחני ההסמכה במשפטים, ברפואה ובמנהל עסקים באוניברסיטת הרווארד, מבלי שהבוחנים ידעו שמדובר במחשב. עמידה ביעד שאפתני זה תחייב קידום כלל התחומים החשובים שהוזכרו כחלק מתחום "בינה המבוזרת". יכולת כזו הינה חלק מעולם "הבינה המבוזרת" משום שדרך הלימוד היחידה האפשרית להשגת יעד כזה היא פיתוח מגוון מחשבים שונים, בשילוב עם בני אדם, שיפתחו אסטרטגיות למידה ומענה למבחנים. כיוון שמבחנים כאלו מחייבים פרשנות אנושית, ידרשו המחשבים לבנות יותר מאשר חוקים (rules) או סטטיסטיקות בלבד. במובן ידוע, זהו "מבחן טיורינג" מתקדם, כיוון שהוא דורש משהו ששונה איכותית מ"מבחן החיקוי" המקורי של טיורינג ואף יותר ממה שנדרש ממחשבים כדי לנצח במשחקי לוח כמו שחמט או Go. מחשב כזה, או אוסף מחשבים כאלה, יהיו חייבים גם להסביר את עצמם לבוחן אנושי, ולכן יהיו חייבים לפתח יכולת לתקשר את ההבנה המחשבת להבנה אנושית (מבוססת השאלה "למה?").

אפשרות שניה ליעד לאומי מלהיב בתחום "הבינה המרחיבה" היא לייצר מערך מבוזר לרפואת חירום, מבוסס רובוטים, רכבים אוטונומיים, מדידים שונים (כמו שעוני יד מודדי סיגנלים רפואיים) ורופאים אנושיים. למערך מבוזר כזה אפשר לקבוע יעד שאפתני (למשל הגעה לכל מקרה חירום תוך כחות מחמש דקות בכל מקום בארץ), באופן שיאתגר את כלל המערכות בישראל להגשמתו. הצוות גם הציע לחשוף את מאגרי המידע הרלבנטיים באתר פומבי, כך שקהילת הדאטה סיינטיסטס העולמית תוכל להרתם למשימה הלאומית שנגדיר לעצמנו.

ב. מרכז מחקר לבिנה מבוזרת

להבנתנו תחום "הבינה המבוזרת" הינו תחום ייחודי שטרם נחקר די הצורך. אחד ממאפייניו המרכזיים הוא היותו בינתחומי במהותו ומשלב דיסציפלינות מתחומי מדעי המחשב, מתמטיקה, מדעי המח, פילוסופיה, בלשנות ופסיכולוגיה. אנו ממליצים על הקמת מכון בינתחומי שירכז את תחום המחקר של "הבינה המבוזרת" ושיכלול מדענים מכלל התחומים שלעיל (המודל של "המרכז לחקר הרציונליות"⁹⁹ באוניברסיטה העברית יכול לשמש כבסיס להקמת מכון מחקר מהסוג אותו אנו מתארים).

שיח מכונה-מכונה ושיח אדם-מכונה הם שני תחומים נוספים שמחייבים השקעת משאבים כבר כיום כדי לייצר יתרון תחרותי לישראל. AutoML הוא תחום שמתחיל לעסוק בהשוואה בין מודלים שונים בלמידת מכונה. החברה המובילה גם בתחום זה היא גוגל. אולם נדמה שיש עדיין מקום לבניית שפה ייחודית לשיתוף מודלים בין מכונות לומדות שונות.

להבנתנו, נראה נכון שהמכון יוקם תחת חסות אחת מהאוניברסיטאות. כהערכה ראשונית וגסה נראה שידרשו בו תקנים לכעשרים חוקרים מתחומים שונים. אם אפשר יהיה להגדיר את המכון כמקום למחקר בלבד, כלומר ללא מטלות אדמיניסטרטיביות ומטלות הוראה, הוא יהיה אטרקטיבי מאד לחוקרים ויאפשר אף להחזיר חוקרים ישראלים בכירים מחוץ לארץ (בדומה למכון למחקרים מתקדמים בפרינסטון). אפשר לחשוב על זה כמעין "תכנית תלפיות" לאקדמאים בעלי משרות דוקטור ופרופסור, מבחינת הקצאת המשאבים והקשב הלאומי.

את תוצאות המחקרים במכון ראוי לפרסם בפומבי וללא שיקולים של זכויות יוצרים לאוניברסיטה בה יוקם המכון. שיקולים כאלה להבנתנו בולמים את היכולת ליישם מחקרים אקדמיים בתעשייה, ולפיכך יפגעו קשות ביכולת לייצר אקו-סיסטם מתקדם שיוכל להפוך את ישראל למובילה בתחום.

ג. פרוטוקול תקשורת אדם-מכונה

שכבה מסובכת וחשובה עוד יותר היא שיח אדם-מכונה. כפי שהוסבר לעיל, דרכי ה"חשיבה" של אנשים ומכונות הן שונות באופן מהותי. היכולת לגשר על הפער הזה הינה הכרחית כדי לייצר "אינטליגנציה מרחיבה" אמיתית. כפי שמסביר פרופ' יהודה פרל בספרו "The Book of Why" ובמאמריו המדעיים הרבים בתחום, נדרש ללמד מכונות לעסוק גם במודלים סיבתיים ולא רק במודלים סטטיסטיים ובייסיאניים. כיצד מייצרים תקשורת דו כיוונית בין התאוריות הסיבתיות של בני האדם לבין מודלים סטטיסטיים של מכונות, הוא אתגר ייחודי שטרם הוצגו לו פתרונות מספקים. הוא נוגע גם לאתגר מוכר כיום של "הסבריות" ("Explainability") של מודלים של למידת מכונה עמוקה.

ד. פורטל לאומי בתחום הבינה המבוזרת

אנו ממליצים על פתיחת פורטל לאומי שיכלול מעבר לדאטה גולמי שהמדינה תחליט לחשוף לקהילת הדאטה סיינטיסטס, גם פרוטוקול מוגדר לשיתוף תובנות בתחומים מגוונים ובצורה מובנית, הן על ידי אנשים והן על ידי מכונות. נדרש להגדיר את האופן בו התובנות ישותפו ונדרש לממש פרוטוקולי פרטיות והצפנה מתאימים. אנו מעריכים שפיתוח אתר כזה, המצאת ובניית הפרוטוקול, ותחזוק האתר מחייבים קבוצה של כעשרים אנשים (חציים מתכנתים וחציים לא).

הארגון שיקים ויתחזק את הפורטל יכול להיות גם המקום בו אנשים יעבדו את התובנות הממוכנות המועברות לפורטל. מוח אנושי מרכזי שמעבד תובנות ממוכנות מבוזרות הוא ככל הנראה שלב ראשון הכרחי ביצירת בינה מבוזרת מרחיבה.

ה. משאבי מחקר ופיתוח

אנו ממליצים בהקשר זה, מעבר להקמת מכון מחקר בינתחומי, להקדיש משאבים מהרשות לחדשנות לתחומים שהוגדרו לעיל, כפי שנעשה בעבר בתחום הסייבר. מענקי מחקר ופיתוח מוגדלים לחברות שיעסקו בתחומים שיוגדרו בעדיפות לאומית, יעודדו את התעשייה לנוע לכיוון זה. מצד שני, ברצוננו להזהיר, גם בעקבות שיחות עם משקיעי הון סיכון מובילים בישראל, שנסיון לניהול ריכוזי של החדשנות בכלל, ובתחום הבינה המבוזרת בפרט, עלול להיות הרסני אם לא ינוהל בזהירות. קרנות ההון סיכון מבססות את עבודתן על עקרון התחרות והשוק החופשיים, ולפיכך אינן ניתנות לניהול ריכוזי. לקרנות בדרך כלל סכומים זמינים עצומים, ככל הנראה גדולים מכפי שתוכל המדינה להשקיע בתחום. לפיכך, עידוד חברות סטארטאפ ממומנות הון סיכון היא הדרך הנכונה, באמצעות מענקים והקלות במס.

ו. חינוך

קידום תחום הבינה המבוזרת מחייב הכנסת יותר תכנים של דאטה סיינס לבתי הספר. מעבר להמלצה הכללית בתחום החינוך בנושא בינה מלאכותית, אנו סבורים שראוי לאפשר לדור הצעיר להיות מעורב אקטיבית באופן שבו נגדיר את שיח האדם-מכונה. נדמה שילדים שגדלים אל תוך עולם ממוחשב ומרובה דאטה, ניגשים בצורה שונה אל המחשבים, כמו למשל באופן בו בני נוער משוחחים עם סירי ועם אלקסה. ככל הנראה, שיח אדם מכונה יחייב מעין דיאלוג מהסוג שמתנהל למשל בין חולה לרופא. הרופא אינו רק כלי להעברת סטטיסטיקה על מחלות לחולה, אלא גם זה שמסביר למה חלה החולה במחלה זו ומהי הפרוגנוזה הנדרשת לטיפול בבעיה. בהקשר זה, אפשר להציע לבחון לראשונה בבתי הספר את היכולת ליישם מכונה שתלמד את התלמידים תחומי ידע מסויימים ולבחון את ההבדלים בין הוראה אנושית להוראה ממוחשבת.

^[1] 99 https://en.wikipedia.org/wiki/Distributed_artificial_intelligence חלק מהתכנים בערך זה נוגעים יותר לחישוב מבוזר

5. דוח צוות המשנה של המיזם הלאומי למערכות נבונות

בנושא כח מחשוב וקוונטים

בראשות ד"ר ארנה ברי

כוח המחשוב למערכות נבונות - מבוא

בעבודות שערכה הקבוצה בנושא כוח המחשוב למערכות נבונות התייחסנו למהירות החישוב להיקפי הנתונים, הזיכרון והאחסון ולסוגי האלגוריתמים אותם ניתן לממש ביעילות כמו גם לאינטגרציה המערכתית המאפשרת העצמת הפריסה הגיאוגרפית, גיוון המשתמשים, מספרם ועוד.

בלי להתייחס ליישומים בהם נדון, מאז 2012 מציינות חברות עסקיות כי כוח המחשוב הנדרש להן גדל פי שניים כל 3.5 חודשים. מעת לעת, מאפשר כוח המחשוב הטמעה גדלה והולכת של אלגוריתמים חדשים והיקפי נתונים גדולים יותר להצטרף לאוסף המערכות הנבונות הקיימות.

המרכיבים העיקריים בכוח המחשוב אליהם התייחסנו:

- חישוב על (hpc)**

- קישוריות ואחסון של המידע המדובר**

- quantum information science** בגישת קצה לקצה של חילול המידע, העברתו, ועיבודו (והיזון חוזר)

מבחינה ארכיטקטונית עסקנו בשילוב (אינטגרציה) של מרכיבים אלו, בקביעה ותיעודף של מאגרי נתונים ומידע (data sets) והיישומים המרכזיים שהשימוש התכוף בהם משנה את צביון הפריון, היעילות והתחרותיות של מדינת ישראל.

ישנם סגנונות שונים ליצירת התשתית עליהם דנן.

- אפשרות אחת - שימוש ונגישות לאמצעים המודרניים ביותר דרך **‘ענן ציבורי’** בו מחיר ההתקנה נמוך יותר, אך מגבלות השימוש בעתיד עולות יותר, ומבחינת ההטמעה של היכולות כולן והשפעתה על קדמת הטכנולוגיה ושימוש בה לחוסן בטחוני, מעלות אצלנו סימני שאלה. זה יביא לעלות נמוכה יותר אך במחיר ביצועים נמוכים יותר ומגבלות קשות יותר.

- אפשרות שניה - **‘ענן פרטי’** - הקמת כוח חישוב ממשלתי על בסיס תקשורת, חישוב ואחסון שנרכשים בידי הגוף המחבר בין הכלים כולם בישראל. מעבר לזה גוף זה מיישם את השימוש במאגרי הנתונים והמידע כנדרש. אפשרות זו עשויה להגיע להתחלת שימוש ממושכת יותר, בעלות הקמה גבוהה יותר, אך בסופו של מעשה עלות השימוש בה תהיה נמוכה יותר ולא חלות עליה מגבלות כלל.

מודל נוסף שניתן לשקול שיאפר גמישות מוגברת כולל: גישה קלה לפלטפורמת ענן בשלב הולידציה, תחת מגבלות צריכה, מתן אפשרות למשתמשים לתנודה קלה למרכז ברגע שהולידציה מתבצעת בענן, טיפול בפערים המובנים בין גרסאות התכנה בענן ו-On-Prem, ומודל אלטרנטיבי המציג מערכת פיתוח קטנה לצד מערכת הפיתוח הגדולה. ישנה חשיבות גדולה לכך שבסיסי הנתונים והאפליקציות שיעשה בהם שימוש יהיו ייעודיים לבינה מלאכותית, ולשם כך ישנו צורך בהתקשרות עם יותר מספק ענן אחד על מנת לקבל את השירותים הטובים ביותר.

תמצית עלויות צפויות:

- חישוב על - מומלץ הקמת מחשב על ישראלי בהיקף של 88,000 ליבות. עלות צפויה כ-1.08 מיליארד ₪ למחשב העל, כולל תשתית תחזוקה ועדכון ל-5 שנים.

- קישוריות ואחסון - מומלץ על הקמת ענן מקומי כולל תקשורת. עלות צפויה כ-240 מש"ח לשנה, למשך 5 שנים (כ-1 מיליארד ש"ח סה"כ).

- קישוריות ואחסון - מומלץ על רכישת שירותי ענן מתקדמים אשר יועמדו לטובת חוקרים מהאקדמיה, התעשייה ומערכת הביטחון. עלות צפויה כ-0.86 מיליארד ₪ לשירותי הענן ל-5 שנים.

- quantum information science - מומלץ להיבנות על התכנית שנוסחה בוועדת תל"מ, ולגזור את החלקים הרלבנטיים למיזם המערכות הנבונות. השקעה זו תכסה בניית יכולות מהרמה האקדמית ועד לשילוב בתעשייה. עלות צפויה 145 מיליון ₪ (התכנית שהוגשה לתל"מ - כ-1.45 מיליארד ש"ח על פני 5 שנים).

- אבטחת מידע - עלות שנתית למערכת כולה – 8% מעלויות המחשוב בסעיפים השונים (מוערך, הן בהקמה והן בשוטף).

- מאגרי נתונים ומידע (data sets) וניהולם - לא פורטו עלויות. תלוי הן בעלות הענן והן ביישומים שיבחרו למיקוד. נדרשת טרנספורמציה דיגיטלית שתאפשר נגישות לנתונים, לאחסון הנתונים בענן ולתשתיות המחשוב כולל אמצעי מחשוב מיוחדים (HPC), לבניית אפליקציות ולדאטה. נדרש שיפור בתשתית הרשתית כי כיום הקצב איטי.

מודל ארגוני מוצע

כללי:

מדינת-ישראל פותחת במאמץ לאומי להשגת עליונות מחקרית-מדעית, ובהמשך הנדסית-תעשייתית, בתחומי הקוואנטום ויישומי מערכות תבוניות (בינה מלאכותית).

המאמץ הלאומי מתוכנן להיפרס על פני מספר 'קטרים' שיפעלו כמובילים מערכתיים בו-זמנית בתחומי המדע והמחקר, הכשרה וחינוך של 'הון אנושי', שת"פ גלובלי עם מדינות מובילות, פיתוח משותף עם מכוני מחקר, התעשייה ושחקנים טכנולוגים מרכזיים מובילים, פיתוח רכיבים ואמצעים ייעודיים טכנולוגיים בעלי חשיבות לאומית ותשתיתית לממשל ולמשק הישראלי וכל פעילות נדרשת נוספת שמטרתה להביא לעליונות הידע והפיתוח בתחומים אלו.

אחד מהאמצעים הקריטיים להצלחת המאמץ הלאומי לעיל, הינו קיומה של תכנית לאומית בעלת גוף המתאם את כל רשויות המחקר וגופי הממשלה. על הגוף להיות איכותי ומקצועי בהיבטי הידע, תוכן וניהול, שיהא אחראי להובלת המאמץ, כתוכנית ארוכת-טווח, על כלל נגזרותיו ותהליכיו.

לפירוט נוסף, ניתן לפנות לד"ר ארנה ברי.

מאגר מידע לאומי

כללי:

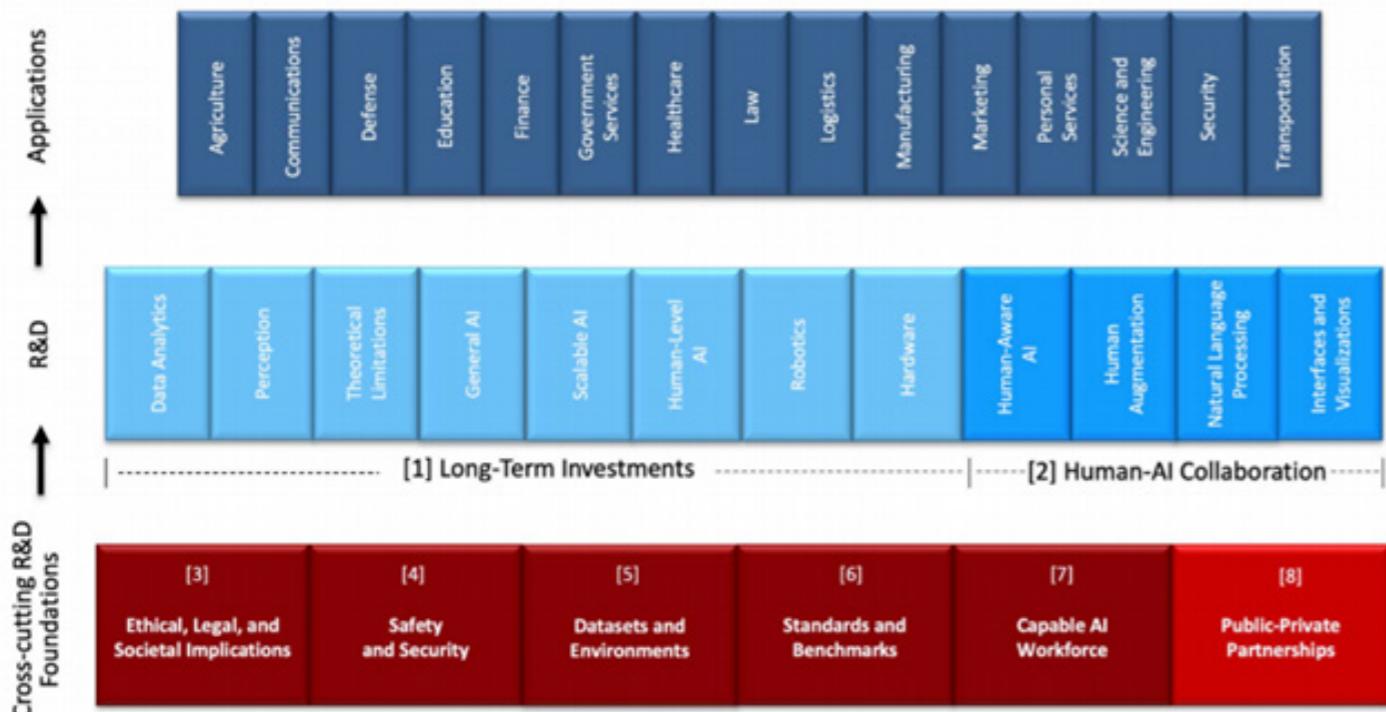
בכוונת מדינת ישראל לשפר את ההנגשה לנתונים הקיימים, הן בממשלה והן בסקטורי הבריאות, הפיננסים והאחרים, ולהנגיש את הנתונים לצרכי מחקר ותפעול שוטף. המטרה היא יצירת תוכנית כוללת אשר תביא לעליונות מחקרית-מדעית ובהמשך גם לעליונות הנדסית-תעשייתית בתחום המערכות הנבונות. כחלק אינטגרלי מתוכנית זו יש צורך בהקמת מאגרי מידע לאומיים המבוססים על אסטרטגית דאטה לאומית. מאגרי מידע אלו ישמשו את העשייה המתוכננת בתחומים שייבחרו במסגרת התוכנית וישמשו את התעשייה, את האקדמיה ואת גופי הממשל השונים כגון מערכת הביטחון, מערכת הבריאות ועוד.

אחד החסמים להתקדמות מהירה בתחומי חדשנות שונים הוא העדר מידע. חוסר מידע זה יכול ויתבטא במידע רב המצוי במקומות רבים ואינו נגיש ממקום אחד (silos of data), יכול ויתבטא בשיעור של הנתונים הנגשים בגין שאינם מנורמלים או אינם מתויגים. ההערכה הרווחת כיום הינה שרק 1% מהמידע הגולמי הקיים הינו בר שימוש וזאת בשל הימצאות המידע במאגרים שאינם מנורמלים, אנם מקושרים ואינן מתויגים (Unconnected silos). הנגישות צריכה להיות הן למידע שעבר אנונימיזציה למטרות הגנה על הפרטיות ושימוש רחב, והן למידע מותאם אישית בעל מטרות ספציפיות. אין ספק כי לבעלות על נתונים כמו גם על אלגוריתמים אנליטייים נלווים קיימת חשיבות רבה לעתידם של ארגונים מסחריים רבים וכמובן לכלכלת המדינה עצמה.

תהליך השינוי של הדאטה צריך להתבצע על מנת שנוכל לבנות ממנו מודל שנוכל לפרוס בצורה רחבה – הן במערכת והן במכשיר דרך אפליקציה. בשלב המחקר, בתחום הרפואה למשל, חוקרים לא זקוקים לפרטים אישיים על הנבדקים להם שייך הדאטה על מנת לבצע מחקרים רוחביים. בשלב הביצוע לעומת זאת, כדי לבצע מתן טיפולים אישיים יש צורך בנתונים מפורטים ככל הניתן. אותו כלל חל גם בתחום הצבאי למשל, כאשר מבצע צבאי דורש פירוט רב על הפעולה המתוכננת והמשתתפים.

^[1] | המיזם הלאומי למערכות נבונות בטוחות - חלק ב' דוחות צוותי המשנה ורשימת משתתפי המיזם | 91

יצירת יכולת מתוחכמת לאיסוף, ארגון, בקרה ומסחור של מאגרי נתונים וקניין רוחני (IP), יכולות עיבוד וניתוח Big Data וכן יכולות בינה מלאכותית (AI) הינה המניע המוביל ליצירת עושר, שכן יכולות אלו הן הגורמות להגדלת הפרודוקטיביות, להאצת החדשנות ולחידוש ושינוי מודלים עסקיים קיימים.



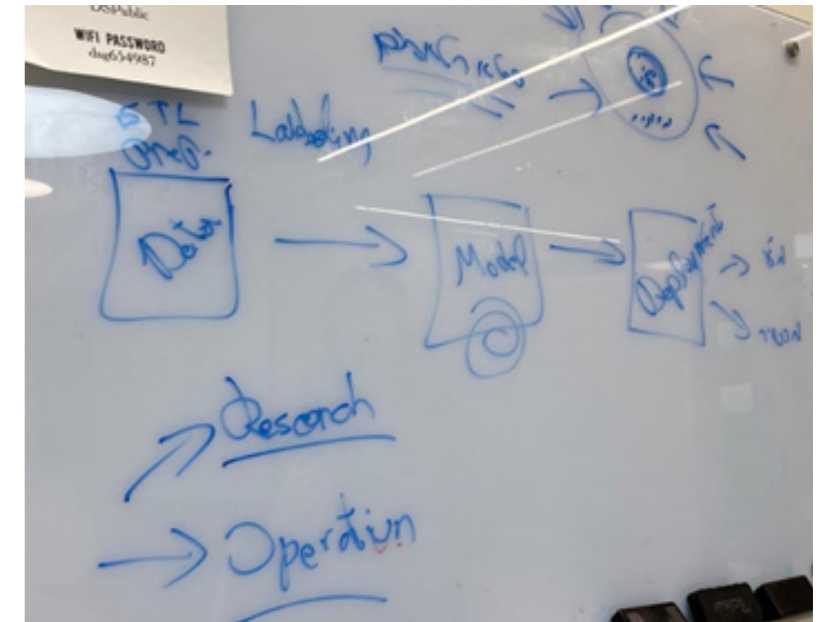
בתמונה: ארגון התוכנית האסטרטגית האמריקאית למו"פ AI (עדכון 2019). שילוב של יסודות מחקר ופיתוח צולבים (בשורה התחתונה) ואזורי מו"פ רבים ב-AI (בשורה האמצעית) שיכולים להיבנות על יסודות אלה כדי להשפיע על מערך רחב של יישומים חברתיים (בשורה העליונה).¹⁰⁰

מידע לאומי

המידע הקיים כיום נוצר בגופים ממשלתיים, בגופים אשר נתמכים על ידי המדינה ובגופים פרטיים רבים. על המדינה לפעול בשני נתיבים לצורך יצירת מאגר המידע הלאומי. הנתיב הראשון הוא יצירת מאגר לכל המידע שנוצר בגופי הממשל השונים ובתחומי הפעילות השונים של הממשל. הנתיב השני הינו יצירת תשתית לאומית המאפשרת שיתופי מידע בין גופים שונים – פרטיים וממשלתיים וכן גופים ממדינות זרות. תשתית זו תפעל תחת רגולציה ממשלתית אשר תקבע את כללי המשחק ותשמר כפלטפורמה להחלפת המידע ולשימוש בו תוך שמירה על האינטרסים של המדינה ואזרחיה.

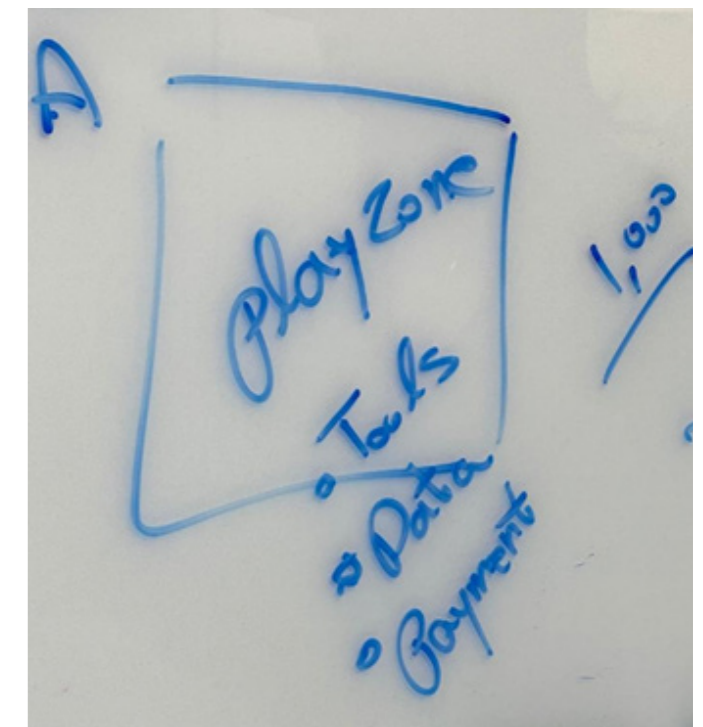
אחד החסמים בתחום שיתוף המידע הינו ההגנה על המידע ועל פרטיות המידע ולכן חשוב לרכז מאמץ בנושאים אלו כדי להבטיח הן את השמירה על המידע המידע המוחזק בבעלות המדינה וגופים ממשלתיים והן את הקמת הפלטפורמה שתאפשר שיתופי מידע בין גופים פרטיים, אקדמיה וגופים זרים.

על מנת להתחיל ולבנות את מאגרי המידע בשני הנתיבים שצוינו לעיל על המדינה לבנות פונקציית העדפה שתביא לבחירת התחומים בהם תרוכז הפעילות הראשונית בבניית מאגר המידע הלאומי. פונקציה זו צריכה לקחת בחשבון את סדרי העדיפויות של הממשל, את היתרונות היחסיים שיש למדינה, את טווח הזמנים בו ניתן לייצר חדשנות ולהשיג יתרון יחסי וכן את מידת השפעה של פעילות בתחום כזה או אחר על חיי התושבים ועל כלכלת ובטחון המדינה.



בתמונה: תרשים של מודל לביצוע טרנספורמציה לדאטה, ד"ר טל בן נון

בעולם אבטחת המידע ניתן להשתמש בפרקטיקה ה-play zone, הכוללת בתוכה כלים, דאטה ותשלומים. מי שצריך לעשות שימוש בנתונים על מנת לייצור מודלים שיוטמעו במערכות ובמכשירי קצה, יוכל לייצר play zone שיאפשר לאסוף ולתמחר את הנתונים עבור השימוש המסחרי, ובתוכו ימצא הדאטה, באופן ריאלי או וירטואלי. פרקטיקה זו מאפשרת להגדיר מרכיב אחד באבטחה, וגישה רק למידע אליו המשתמש מורשה. יש לבנות ענן שיאפשר את הנגישות בצורה פשוטה, יאפשר נגישות לאמצעי חישוב ביניהם גם אמצעים ייחודיים ויעודיים, יעשה איזון עומסים גנרי, ויאפשר בניית יישומים למיצוי הדאטה. בהינתן שימוש בענן יש אפשרות לתמחר את הנתונים ולתרום לכלכלת המדינה וליעילותה.



בתמונה: תרשים של מיצוי הענן, ד"ר טל בן נון

Exec. Office of the U.S. President, The National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan: 2019 Update (June 2019) 100 page 6, available at <https://www.whitehouse.gov/wpcontent/uploads/2019/06/National-AI-Research-and-Development-Strategic-Plan-2019-Update-June2019.pdf>

קבוצת עבודה 1 – HPC וענן

רשות מידע לאומית

על המדינה להקים רשות מידע לאומית אשר תהיה אחראית על יישום אסטרטגיה זו. הרשות תהיה אחראית על הפעילות בקרב הגופים הממשלתיים ויצירת מאגרי המידע בבעלות המדינה כמו גם על הקמת התשתיות להחלפת מידע בקרב הגופים הפרטיים כגון האקדמיה, התעשייה וכן מוסדות ממשלה שונים. על הרשות להסדיר רגולטורית ולהבטיח נושאים מהותיים כגון ההגנה על המידע ועל פרטיות המידע (Security & Privacy).

פעילות הרשות בניהול המידע תכלול בין השאר:

- איסוף וצבירה חכמה של נתונים, נרמולם והשלמתם
- יצירת מנגנון שוטף לעדכון הנתונים ולהגדלת בסיסי המידע
- יצירת פלטפורמה להנגשת הנתונים לגופים השונים
- יצירת מנגנוני בטיחות מידע והגנה על הפרטיות
- הגנה על קניין רוחני
- שמירה על קודי אתיקה
- יצירת מערכת לשיתוף מידע עם מדינות אחרות וגופים זרים

רשות המידע הלאומית צריכה להיות מנוהלת על ידי Chief Data Officer, שיהיה אמון על ניהול מאגרי הנתונים הציבוריים, פיתוחם וטיובם. כמו כן יהווה גורם מקצועי מנחה לגבי אופי הטיפול במאגרי נתונים בגופים הציבוריים השונים תוך איזון בין דרישות ההגנה והפרטיות לבין התועלת שעשויה לצמוח משיתופם לטובת הכלכלה והחברה. המבנה הארגוני של הרשות צריך לכלול בעלי תפקידים נוספים כגון:

- Data Scientist
- Big Data Architect
- Data Engineers
- Data tagging experts

רקע

1. המסמך הינו ריכוז וסיכום עבודת מטה של קבוצת עבודה (HPC, יישומים ודאטה) שפעלה בצוות המשנה "כח מחשוב וקוונטים" של מיזם "מערכות נבונות בטוחות". מטרת המסמך הינה להמליץ על כיווני הפעולה המרכזיים – אשר ראוי בעינינו לקדם במסגרת המיזם, באקדמיה, בתעשייה, במערכות הממשל ובמערכת הבטחון. זאת, על מנת לעמוד במטרת המיזם – הצבת מדינת ישראל בחמישיה המובילה בעולם בתחום זה.

2. הצוות התמקד בתשתיות הנדרשות עבור AI בתחום חישוב העל, מאגרי מידע, ואלגוריתמיקה מתקדמת, כולל היבטים של כ"א, תשתיות מרוכזות, ושיתופי פעולה. הקבוצה עסקה באיסוף מקרי בוחן בשימוש בחישוב על בנושאי AI, ניתוחם, הבנת מודלי החישוב בעולם וגיבוש המלצה בנושא. כמו כן עסקה בנייתוח הצורך באיגום מאגרי מידע מרכזיים, בין אם בשל הצורך בהם או בשל הייחודיות של ישראל, ובחנה את המענה המיטבי להקמת מאגרים שכאלו. נבחנו גם סוגיות של פיתוח כח אדם לטובת נושאים אלו.

3. כשלי השוק המרכזיים בעולמות הבינה המלאכותית ולמידת המכונה הם: השגת כוח אדם מנוסה, נגישות למאגרי מידע, נגישות לכוח מחשוב רב והתחברות לרשת מחשוב ציבורית בינלאומית כדוגמת PRACE¹⁰¹.

4. כפי שראינו בשיח, הן עם האקדמיה והן עם החברות בתעשייה, ככל שהטכנולוגיה מתקדמת, כך עולים העלויות והצרכים הנדרשים על מנת לשמור על יתרון תחרותי. תשתית מחשוב משמעותית יכולה לסייע בכל ההיבטים ולהאיץ את העיסוק בבינה מלאכותית במדינת ישראל במספר דרכים. ראשית, התשתית תשמש להכשרת כ"א ייעודי. שנית, גופים ציבוריים יגישו מאגרי מידע. בנוסף, הקמת תשתית תאפשר סבסוד שירותי אחסון מידע והפעלת מחשוב ופתרון בעיות אופטימיזציה לכלל שותפי התשתית. כמו כן, יש לבחון חיבור חלק מהתשתית המקומית לרשת האירופאית.

5. מודל ההקמה שהוחלט בנוגע לתשתית המחשוב הוא של תשתית דואלית. תוקם תשתית מידע לא מסווג לכלל התעשייה והאקדמיה, ותשתית מסווגת עבור חברות וגופים ביטחוניים בעלי מידע מסווג. הגישה תינתן באופן פרופורציונלי לתרומה בפועל לתשתית. התשתית תהיה דינמית ומשודרגת, כאשר יוגדר תקציב קבוע לצורך חידושים עתידיים.

6. רכישת הציוד, התחזוקה והייעוץ, יתבצעו בשיתוף חברות תעשייה שונות, והעלות הכוללת תהיה כ-50 מיליון דולרים מידי שנה.

HPC - רקע

7. לשם ביצוע חישובים מורכבים בתחום הבינה המלאכותית נדרש כוח חישוב רב, המסוגל לטפל גם במידע בנפחים גדול מאוד. למעשה, צרכי החישוב בבינה מלאכותית והצורך בפתרון בעיות חישוב מורכבות יותר ויותר, דוחפים קדימה את שוק המחשוב באופן עקבי, בין היתר במעבר ליחידות עיבוד מסוג GPU ותכנון רכיבים חדשים אשר יהיו מותאמים במיוחד לחישובי בינה מלאכותית. כיום, מעל לחצי מהנתונים של העולם נוצרו בשנתיים האחרונות, וכחות משני אחוזים מתוכם נותחו. הדאטה גדל בצורה מעריכית, ואיתו גדלה הדרישה לחישוב, אחסון ורשת¹⁰².

נדרשת יכולת להישאר מעודכנים ורלוונטיים, יחד עם היכולת לחקור ולחדש באופן עצמאי. חשוב להדגיש כי הצרכים אינם רק בכוח חישוב עצמו, אלא גם באחסון, תקשורת, תמיכה ועוד.

מחשוב על במדינות אחרות ובארץ

8. ניתן ללמוד רבות מהגישות בארה"ב, אירופה, יפן, סין ומדינות נוספות. הגישה השלטת הינה לרוב בניית מרכזי חישוב במודל ממשלתי, ציבורי או פרטי, אשר מאפשרים חישובים מורכבים לאקדמיה ולתעשייה, לצד בניית מרכזי מחקר בנושאי חישוב אשר יעודדו חדשנות וינגישו יכולות חישוב מתקדמות לכלל המשתמשים. באופן כללי ניתן לראות כי מצב חישוב העל בארץ אינו מיטבי, וכי נוצר פער גדול בין ישראל לעולם. רבים מהחוקרים באקדמיה ובתעשייה נסמכים על יכולות חישוב במקומות אחרים בעולם.

¹⁰¹ יוזמת מחשוב העל האירופאית: <https://prace-ri.eu/>

¹⁰² מתוך המצגת של אבנר גורן

לפי הנתונים שעולים מאתר TOP500 המרכז את הידע על מחשבי העל בעולם, סין וארה"ב מובילות בתחום, ובין 10 המחשבים החזקים ביותר מצויים מחשבים שממוקמים גם בשווייץ, יפן וגרמניה. בנוסף למדינות המובילות, גם מדינות קטנות (כדוגמת פינלנד וסינגפור) הן בעלות מחשבי על¹⁰³.

בטבלה זו מוצגים עשרת מחשבי העל המובילים לפי אתר TOP500, נכון ליוני 2020:

מדינה	דירוג	שם	יצרן	מס' ליבות	זיכרון (GB)	מעבד	חיבור	מיקום
יפן	1	Supercomputer Fugaku	Fujitsu	7,299,072	4,866,048	A64FX 48C 2.2GHz	Tofu interconnect D	RIKEN Center for Computational Science
ארה"ב	2	SUMMIT	IBM	2,414,592	2,801,664	IBM POWER9 22C 3.07GHz	Dual-rail Mellanox EDR Infiniband	DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory
ארה"ב	3	SIERRA	IBM	1,572,480	1,382,400	IBM POWER9 22C 3.1GHz	Dual-rail Mellanox EDR Infiniband	DOE/NNSA/LLNL
סין	4	SUNWAY TAIHULIGHT	NRPCPC	10,649,600	1,310,720	Sunway SW26010 260C 1.45GHz	Sunway	NATIONAL SUPERCOMPUTING CENTER IN WUXI
סין	5	TIANHE-2A	NUDT	4,981,760	2,277,376	Intel Xeon E5-2692v2 12C 2.2GHz	TH Express-2	NATIONAL SUPER COMPUTER CENTER IN GUANGZHOU
איטליה	6	HPC5	Dell EMC	669,760	349,440	Xeon Gold 6252 24C 2.1GHz	Mellanox HDR Infiniband	Eni S.p.A
ארה"ב	7	SELENE	Nvidia	272,800	560,000	AMD EPYC 7742 64C 2.25GHz	Mellanox HDR Infiniband	NVIDIA Corporation
ארה"ב	8	FROTERA	Dell EMC	448,448	1,537,536	Xeon Platinum 8280 28C 2.7GHz	Mellanox InfiniBand HDR	Texas Advanced Computing Center/ Univ. of Texas
איטליה	9	MARCONI	IBM	347,776	252,928	IBM POWER9 16C 3GHz	Dual-rail Mellanox EDR Infiniband	CINECA
שווייץ	10	Piz Daint	Cray/HPE	387,872	365,056	Xeon E5-2690v3 12C 2.6GHz	Aries interconnect	Swiss National Supercomputing Centre (CSCS)

9. בבואנו להגדיר את צרכי מרכז החישוב לשימושי בינה מלאכותית בישראל עלינו להידרש לשתי שאלות: הראשונה היא מי הם המשתמשים שלנו. השנייה היא מה הצרכים שלהם בנוגע לנושאים הבאים: גישה למידע משותף, חיסכון בעלויות, יכולת פתרון בעיות גדולות בקנה מידה רחב, אילוצי סיווג, חיסיון וביטחון, ביצוע בדיקות test bed וחדשנות, תמיכה בקהילה, חינוך ואימון. על מנת למקם את דרישתנו המינימלית לקידום מחקר ופיתוח תחרותי, בחרנו לבחון שלוש תוכניות למחשוב על, על בסיס הפרמטרים הבאים: מודל הצטיידות ושדרוג, רמת נצילות, סוגי המשתמשים והתפלגותם, מודל חיובי של כל סוג לקוחות, תחזוקה טכנית, צוות התמיכה בחוקרים, כמות GPU, כוח עיבוד, אנרגיה ומבנה החומרה.

בטבלה זו מוצגים הנתונים אודות מחשבים בגרמניה, אנגליה, ומדינה נוספת במפרץ הפרסי, כפי שהתקבלו בשיחות עם מרכזי החישוב עצמם:

מדינה	מודל הצטיידות ושדרוג	רמת נצילות	סוגי המשתמשים והתפלגות	מודל חיובי של כל סוג לקוחות	תחזוקה טכנית	צוות התמיכה בחוקרים	כמות GPU	כוח עיבוד ומבנה החומרה	מבנה החומרה
גרמניה ¹⁰⁴	הממשלה הקציבה 5 מיליארד יורו ל-5 שנים	מבצעים, 100% רכש נוסף בימים אלו	1100 חוקרים PHD-ו (מתכננים לגדול ל-2000 חוקרים)	כל גורם קיבל הקצאה ממחשב העל בהתאם להשקעה	0.5 FTE from the facility DC	2 FTE	600	0.5MV	DGX
אנגליה	התקצוב גדל בהתאם לתקציב הממשלה. לדוגמא, כרגע הוקם מיזם בריאות עם kings college לחקר הסרטן על פלטפורמות DGX חדשות	מבצעים, 100% רכש נוסף בימים אלו	אין מידע בנושא	כל גורם קיבל הקצאה ממחשב העל בהתאם להשקעה	0.5 FTE from the facility	3 FTE	800	0.5MV	DGX
מדינה במפרץ הפרסי	אין מידע בנושא	אין מידע בנושא	אין מידע בנושא	אין מידע בנושא	אין מידע בנושא	אין מידע בנושא	3200	1.7MV	DGX

לאחר עשרות פניות למרכזים בעולם התקשנו לקבל מספרים מדויקים אודות הנתונים. דוגמא למרכז עליו הצלחנו לקבל מידע היא מרכז בברצלונה המאופיין ב-165 אלף ליבות, 390 TB 11.15 PF של זיכרון ראשי, 14 PB של אחסון, בנוסף גישה למרכז נוסף שנותן 24.6 PB¹⁰⁵.

¹⁰⁴ [/https://www.dfki.de](https://www.dfki.de)
¹⁰⁵ [/https://www.bsc.es](https://www.bsc.es)

10. היות ועבודת הועדה עוסקת בסוגי משתמשים שונים (ביטחון, הכשרות, תעשייה, משרדי ממשלה ואקדמיה) כאשר לכל אחד מהם ישנם שימושים וצרכים שונים, קיים צורך להתעמק בצרכים של כל משתמש. להלן טבלה המתארת את צרכי המחשוב של המשתמשים השונים:

סוג המשתמש	סוג המשימות הנדרשות	פורמט המידע	סוג הכוח החישובי	מוטיבציה עיקרית למחשוב-על לאומי
אקדמיה – מחשוב על	מודלים פיזיקליים; סימולציה	Double precision floating points; רמה גבוהה של מיקבול מידע	מספר CPUs ומאות או אלפי GPUs	הפחתת עלויות בהשוואה לענן; הרצת מודלים גדולים שלא ניתן להריצם על חומרה פרטית; מינוף צוות התמיכה של מחשוב העל; מינוף פרויקטי תוכנה קהילתיים
אקדמיה – בינה מלאכותית	אימון	סוגי מידע לאימון 32/16 float	מנועי אימון (מאות GPUs או מאיצים)	הפחתת עלויות בהשוואה לענן; תמיכה ברשתות גדולות יותר, מעבר ליכולת חומרה פרטית
בינה מלאכותית – סטארט-אפים/Silicon Servers	מאגרי מידע הסקה/אימון	סוגי מידע ל-AI	חיבור לצידוד של של Data centers	בדיקת מוצרים בסביבת Data center מלאה
סטארט-אפים – אפליקציות בינה מלאכותית	אימון	סוגי מידע לאימון 32/16 float	מנועי אימון (מאות GPUs או מאיצים)	הפחתת עלויות בהשוואה לענן; במרבית המקרים מסתפקים ברשתות בגודל סביר
אפליקציות בינה מלאכותית לחברות (למשל מובילאי)	אימון	Training data types 32/16 float	מנועי אימון (מאות רבות של GPUs או מאיצים)	מעדיפים ענן ציבורי לטובת הגמישות וה-Scale שדרושים להם לטובת רשתות הגדולות במיוחד
צה"ל	אימון	סוגי מידע לאימון 32/16 float סוגי מידע להסקה (Inference) INT8	מנועי אימון (מאות רבות של GPUs או מאיצים) מאיצים להסקה (Inference)	הפחתת עלויות בהשוואה לענן; תמיכה ברשתות גדולות יותר, מעבר ליכולת חומרה פרטית; מינוף תשתית אזרחית
משרדי ממשלה	הסקה ואימון	סוגי מידע לאימון 32/16 float סוגי מידע להסקה (Inference) INT8	מנועי אימון (עשרות GPUs או מאיצים) מאיצים להסקה (Inference)	הפחתת עלויות בהשוואה לענן; מינוף ה-Ecosystem המסחרי
הכשרות				אימון והכשרות לאנשי מקצוע בתחומי ה-AI

ענן ציבורי - רקע

11. מחשוב ענן הוא מודל המאפשר גישה נוחה, בכל מיקום, ולפי דרישה למאגר משותף של משאבי מחשוב הניתנים להגדרה (למשל רשתות, שרתים, אחסון, יישומים ושירותים) שניתן לספק במהירות ולשחררם במאמץ ניהול מינימלי או אינטראקציה של ספק שירות. בתחילה, שימוש בענן היה בשוליים, אך כיום הוא נמצא בליבת מערכי המחשוב, ומאפשר לנצל יכולות של בינה מלאכותית ולימוד מכונה, רובוטיקה, ניתוח מעמיק והגירת בסיסי נתונים. היתרונות המשמעותיים של שימוש בענן הם: שימוש עבור צריכה בלבד, שקיפות גדולה יותר של הצריכה, התאמה טובה יותר, ייתור הצורך לבנות ולהריץ בסיסי נתונים וחוסך חלק מכוח האדם הנדרש. חסרונות לשימוש בענן הם: כאשר מדובר בכמות של 8 מאיצים או יותר וכמויות נתונים גדולות הוא הופך לפחות אטרקטיבי, בבינה מלאכותית מניעים הרבה נתונים, והזנת נתונים הלוך ושוב מהענן היא יקרה ויוצרת בעיות שיהיו, וישנם היבטי אבטחה שיש לשקול.

12. מודל נוסף שניתן לשקול שיאפר גמישות מוגברת כולל: גישה קלה לפלטפורמת ענן בשלב הולידציה, תחת מגבלות צריכה, מתן אפשרות למשתמשים לתנודה קלה למרכז ברגע שהולידציה מתבצעת בענן, טיפול בפערים המובנים בין גרסאות התכנה בענן ו-On-Prem, ומודל אלטרנטיבי המציג מערכת פיתוח קטנה לצד מערכת הפיתוח הגדולה.

13. שירותי פיתוח בענן הם שירותים או דגמים אשר ניתנים על גבי הענן, שמאפשרים לצוותים למנף מודלי בינה מלאכותית דרך API בלי צורך במומחיות בתחום מדעי הנתונים. מודלים אלו מספקים מספקים שירותים עם יכולות שפה, תמונה, ולמידת מכונה אוטומטית. שירותים אלה זמינים לרוב באמצעות גישה לממשק API והם בדרך כלל מתומחרים על פי מספר שיחות API. במקרים מסוימים, ניתן להשתמש בשירותים באמצעות כלי תצורה משולבים. דוגמאות לשירותים אלה כוללים הבנת שפה טבעית, זיהוי תמונה ויצירת מודל למידת מכונה.

תשתית ענן עבור בינה מלאכותית ולמידת מכונה

14. בניית תשתית ענן עבור פעילויות בינה מלאכותית ולמידת מכונה באופן מיטבי דורשת הקפדה על סדר זרימה של תהליכים מרובים. נדרש לנקות ולתייג נתונים, לחלץ את התכונות המתאימות עבור ביסוס החיזוי ולבסוף נדרש לאמן את המודל, לבצע ולידציה (כולל מחזוריות לשיפור המודל) ולאחר מכן לבצע שימוש במודל תוך שיפור מתמיד ביכולותיו. רצף זה הינו מורכב ביותר גם עבור הארגונים המיומנים ביותר מבחינה טכנית.

בתרשים זה מוצג רצף העבודה בבניית תשתית ענן:



15. על מנת להביא את היכולות הללו למלוא הפוטנציאל נדרש לבצע הפשטה של ממשקים, מערכות וכלי עבודה חדשים כדי לפשט את הפיתוח והפריסה של יישומים עבור המפתח, ולכן בכל שכבה בארכיטקטורה נדרש טיוב לטובת התהליך. על הענן לאפשר נגישות אל:

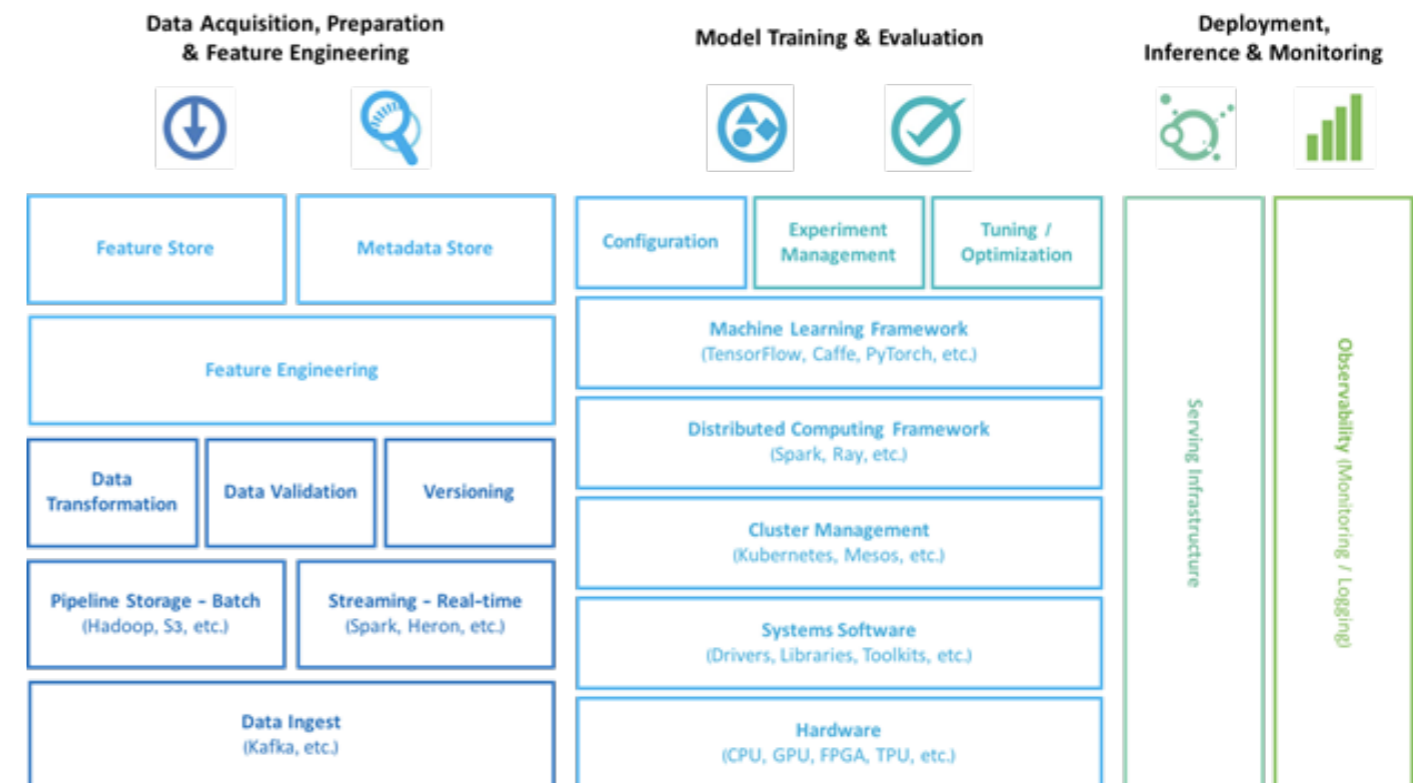
- חומרה ייעודית המכילה ליבות עיבוד רבות, זיכרון רב ובעל רוחב פס גבוה.
- שבבים אשר מותאמים לחישוב מקבילי בקצב גבוה ולביצוע פעולות מתמטיות.
- תשתיות למחשוב מבוזר לאימונים וליישום האלגוריתם גם על פני צמתי חישוב מרובים.
- ממשק המאפשר הבניית זרימת מידע אמינה (Pipeline) ואחידה על מנת לאפשר יצירה, שחזור וניהול נתוני אימון וחיזוי.
- תשתית אחסון המאפשרת ביצועים בקצב גבוה והשהייה נמוכה על מנת לאפשר פעולות במהירות על בסיס בנתונים ובזמן אמת.
- נגישות לביצוע פעולות על מודלים מבצעים בסדרי גודל רחבים של:

o בקרת איכות

o איתור ותיקון באגים

o כוונן ואופטימיזציה

בתרשים זה מוצג רצף העבודה בבניית תשתית ענן:



בתרשים זה ניתן לראות את אבני הבניין המרכזיות הנדרשות לטובת הקמת תשתית לחישוב עבור בינה מלאכותית ולמידת מכונה, משלב הכנסת המידע ועד לפריסת המודל והפקת תובנות. להלן הסבר עבור כל אחת מאבני הבניין בשרטוט:

- Metadata Store - מידע שמתאר את משתני המידע עליו המודל עובד.
- Feature Store - ספרייה של פונקציות שיוצרות פיצורים מהמידע.

- Feature Engineering - שימוש בידע על התחום הטכנולוגי אליו שייך הדאטה בכדי ליצור יכולות נוספות.
- Data Transformation - תהליך המרת הנתונים מתבנית אחת לאחרת.
- Data Validation - בדיקה שהמודל רץ על מידע נקי, נכון ושימושי.
- Versioning - יצירה וניהול של מספר גרסאות של המודל.
- Pipeline Storage – Batch - אחסון מידע בנכחים גדולים. גישה ישירות לדיסק.
- Streaming – Real-time - אחסון מידע בנכחים גדולים. גישה בזמן אמת.
- Data Ingest - תהליך קבלה וגישה למידע לשימוש ואחסון מדי.
- Configuration - בחירת מודל התחלתי וכרמטרים ראשוניים.
- Experiment Management - ניהול התוצאות, הקוד, והמודלים המתקבלים ושמירה שלהם.
- Tuning / Optimizations - שיפור המודל בהתאם לתוצאות על סט הבדיקה בעזרת שינוי פרמטרי על.
- Machine Learning Framework - סביבות עבודה שעוזרות להריץ ולבחון את המודלים בצורה יעילה, קלה ומהירה.
- Distributed computing Framework - מסגרת מחשוב מבוזרת לניהול משאבי המחשוב.
- Cluster Management - ניהול היכולת לבצע מקבול תהליכים לכינוס האלגוריתם.
- System Software - תוכנות מערכת ההפעלה שמפעילות את החומרה.
- Hardware - החומרה שמבצעת את החישובים והפעולות של המודל.
- Serving Infrastructure - התשתית שמאפשרת את יישום האלגוריתם הנבנה בשטח.
- Observability - שמירה והצגה בצורה שקופה של המידע הרלוונטי לתפעול כלל המערכות.

ענן ציבורי במדינות שונות

16. בארה"ב נחתמה לאחרונה הסכמה בין אוניברסיטאות מובילות לחברות טכנולוגיות שתאפשר לאקדמים ומדענים אחרים גישה למשאבים שעד כה היו זמינים לענקי הייטק בודדים בלבד. היוזמה, שנקראת ענן המחקר הלאומי, קיבלה את תמיכת שתי המפלגות והוגשו הצעות חוק להקמת צוות משימה שיכלול מדענים ממשלתיים, אקדמאים ונציגי תעשייה שיבנו ויממנו את המהלך¹⁰⁶. כמו כן, בבריטניה לאחרונה נעשה שימוש בריבוי עננים¹⁰⁷.

ענן ציבורי בישראל

17. קיימים כעת בארץ מספר פרויקטים ממשלתיים הנוגעים לענן. הפרויקט הראשון מכונה **נימבוס**. נימבוס היא תכנית לרכישת ענן ציבורי למשרדי הממשלה, היות וחלק ממעצמות הענן הבינלאומיות מקדמות בימים אלו תשתית ענן בישראל. מתוכננים גם שלבי ביניים בהן חלק משרותי הענן עשויים להיות ניתנים ע"י הזוכה כשירותים מחו"ל והשאר מישראל. שלב מעבר זה לא אמור לקחת מעל שנה, כאשר הכוונה היא לייצר רגולציה ותמריצים שיחייבו את משרדי הממשלה לעבור לענן הישראלי ובכך להבטיח הנגשה של הנתונים שלהם, לקצץ עלויות של הפעלת רשתות מחשוב פרטיות ועוד. רשות התקשוב הממשלתי עומדת כעת לפני הוצאת מרכז נימבוס. יצוין כי במסגרת תכנית זו יעשה שימוש גם בענן של יוזמת נימבוס, והשירותים, הדאטה סטים והאפליקציות שאנו מבקשים בדוח זה הם הכרחיים לדרישות עבור השימוש בענן לבינה מלאכותית.

¹⁰⁶ <https://www.nytimes.com/2020/06/30/technology/national-cloud-computing-project.html>
¹⁰⁷ <https://ukcloud.com/>

18. פרויקט נוסף הוא תמנע. **תמנע** הינו פרויקט של משרד הבריאות לאיסוף נתונים רפואיים ומתן נגישות אליהם דרך ענן ציבורי, תוך שמירה על פרטיות המשתמשים ומתוך מטרה לאשר מו"פ רפואי לצורך קביעת מדיניות, פיתוח טיפולים רפואיים ומעקב אחר מגמות. 15 גופי בריאות חתומים על העברת מידע קליני למערכת ובהם בתי חולים וקופות חולים.

19. הפרויקט השלישי הוא **פסיפס**. פסיפס הוא פרויקט לאומי משותף למשרד הבריאות, רשות החדשנות, ישראל דיגיטלית, ות"ת, משרד המדע ומפא"ת שמטרתו הקמה של מאגר מידע גינומי וקליני שיאפשר מו"פ להוצאת תובנות לצד שיפור יכולות האבחון והטיפול בחולים.

20. בימים אלה מוקם חל"צ בבעלות האוניברסיטאות בישראל שיארח את המיזם אולם הוא כבר פעיל כמנהלת בתוך משרד הבריאות בראשות יעל וילה. עד כה נחתם הסכם עם קופות חולים מאוחדת ולאומית בהן חברים למעלה מרבע מאוכלוסיית ישראל כדי לאפשר העברת מידע קליני מהקופות. כמו כן, בוצע פיתוח מלא של התשתית התפעולית, המאפשר לקופות גיוס תורמים והעברת המידע הקליני הנדרש בהתאם לפרוטוקול שגובש וסוכם. בנוסף, גובש הסכם התקשרות להקמת מרכז מצויינות לאומי לריצוף גנומי. כמו כן, הוקמה ועדה מדעית מייצגת בראשותו של פרופ' קרל סקורצקי. לאחר עבודה מאומצת של בכירי החוקרים והגנטיקאים במדינה, הגישה הועדה המלצה למיפוי תמהיל תת האוכלוסיות במדינת ישראל והחלה הקמתה של תשתית טכנולוגית ומערך המידע.

21. למרות כל היוזמות הללו, כעת אין עדיין תכנית ענן בישראל. לאור העובדה שאין בישראל מרכז חישוב לאומי בעל כוח רב שיכול להוות חלופה, ולאור החשיבות של שימוש בענן לפיתוח בינה מלאכותית, עלינו לנצל את העובדה שישנן חברות שמקדמות הקמת תשתית ענן בישראל בימים אלו ולממש יוזמה לשימוש בענן. השימוש בשירותי ענן שנמצאים בישראל יאפשרו אחסון נתונים אשר מטעמי פרטיות ורגולציה צריכים להישאר בתוך המדינה. בנוסף, קיומו של ענן מקומי אשר יעמוד בדרישות לאבטחה, עמידות ורציפות תפעולית, יאפשר סגירת פער מול מדינות מתקדמות יותר בהיבטי תשתיות מחשוב¹⁰⁸. מומלץ לרכוש שירותים מיותר מספקית ענן אחת על מנת לאפשר ביצועים מיטביים וגמישות.

נתונים (Data) - רקע

22. אחד החסמים להתקדמות מהירה בתחומי בינה מלאכותית הוא חוסר בנתונים. חוסר זה יכול לבוא לידי ביטוי במידע רב המצוי במאגרים שונים אשר אינם מתקשרים אחד עם השני, ויכול ויתבטא בנתונים שאינם מתויגים או מוכנים לשימוש. אין ספק כי לבעלות על מידע קיימת חשיבות רבה לעתידם של ארגונים מסחריים רבים ולכלכלת המדינה עצמה. יצירת יכולת מתחכמת לאיסוף, ארגון, בקרה ומסחור של מאגרי נתונים וקניין רוחני, ויכולות עיבוד וניתוח הן מהותיות לשימוש בכלי בינה מלאכותית. קיומם של מאגרי מידע רחבים, שלמים ואיכותיים יוכל גם ליצור תשתית שלמה של שיתופי פעולה בין האקדמיה, התעשייה ומשרדי הממשלה, וליצור שיתופי פעולה עם גופים ממשלתיים זרים ועם חברות פרטיות זרות. המידע הקיים כיום נוצר בגופים ממשלתיים, בגופים אשר נתמכים על ידי המדינה ובגופים פרטיים רבים. אחד החסמים בתחום שיתוף המידע כיום הוא ההגנה על המידע ועל פרטיותו ולכן חשוב לרכז מאמץ בנושאים אלו כדי להבטיח הן את השמירה על המידע המוחזק בבעלות המדינה וגופים ממשלתיים והן הקמת פלטפורמה שתאפשר שיתופי מידע בין גופים פרטיים, אקדמיה וגופים זרים.

טרנספורמציה דיגיטלית

23. נושא נוסף אשר רלוונטי מאד לעולם הנתונים הוא הטרנספורמציה הדיגיטלית. הטרנספורמציה הדיגיטלית היא תהליך שמטרתו לעזור לארגונים למצוא דרכים חדשות ליצירת תוצר בעל ערך עסקי ולהיות תחרותיים. השינוי הדיגיטלי השפיע על ארגונים שונים מתעשיות שונות במידה רבה, בדיגיטציה של התהליכים העסקיים, האינטראקציה עם הלקוחות, ניהול המידע וניתוח הנתונים על מנת לחלץ תובנות מעניינות ורלבנטיות. שינויים אלו כוללים מעבר ממילוי טפסים וכתובת מסמכים בכתב יד למילואם במחשב, ביצוע פעולות שונות מרחוק, וכו'.

24. לביצוע מוצלח של טרנספורמציה דיגיטלית 5 גורמי מפתח:

1. נוכחותם של מנהיגים נכונים, בעלי ניסיון דיגיטלי.

108 <https://www.globes.co.il/news/article.aspx?did=1001315732>

2. התאמת ההון האנושי בארגון - הכשרת כוח אדם עתידי ופיתוח כישורונות, הגדרת תפקידים מחדש כך שיהיו מיושרים עם מטרות הטרנספורמציה, גיוס אינטגרטורים ומנהלי חדשנות טכנולוגית שיגשרו על הפערים בין התחומים המסורתיים לתחומים הדיגיטליים של העסק.

3. עידוד העובדים לאמץ את הטכנולוגיות החדשות - תרבות ארגונית אשר מחזקת התנהגויות ודרכי עבודה באמצעות מנגנונים רשמיים. נתינת מקום לעובדים להציע רעיונות חדשנים.

4. הטמעה חיובית של השינוי, תוך תקשורו התמידי לעובדים הן בדרכים המסורתיות והן בדרכים הדיגיטליות, ויצירת מחויבות בקרב העובדים לדרכי העבודה החדשות.

5. שדרוג העבודה היום-יומית והפיכתה לדיגיטלית בכלל פעולות החברה. הפיכת המידע לנגיש ברחבי הארגון, יישום טכנולוגיות לשירות עצמי לשימוש העובדים, הלקוחות והשותפים העסקיים. בנוסף, ביצוע החלטות מבוססות מידע יכול גם הוא להגדיל את סיכויי ההצלחה בביצוע הטרנספורמציה. מחקרים מראים שאחוזי ההצלחה גבוהים יותר בקרב חברות המיישמות שימוש נרחב בטכנולוגיות, כאשר בינה מלאכותית עומדת בראשן¹⁰⁹.

25. שמירה, אגירה, ויכולת שיתוף ושימוש נרחב בנתונים הן כלי חיוני ביישום יכולות בינה מלאכותית. כמו כן, תהליכי ניתוח מידע מתקדמים תוך שימוש בבינה מלאכותית ולמידת מכונה גם הם משמעותיים במיוחד לביצוע תהליכי טרנספורמציה דיגיטלית, היות והם מאפשרים לחברות למנף את הנתונים שברשותן על מנת לקבל תובנות עסקיות ולייצר מודלי התנהגות של השוק והלקוחות¹¹⁰.

אסטרטגיות דאטה שונות

26. דוגמא לאסטרטגיית דאטה מוצלחת היא של האיחוד האירופי.¹¹¹ עד כה האיחוד כבר נקט מספר צעדים לקידום האסטרטגיה מאז 2014. עם תיקון ה-GDPR האיחוד האירופי יצר מסגרת איתנה לאמון דיגיטלי. יוזמות אחרות אשר טיפחו את התפתחות כלכלת הנתונים הן התקנה על זרימה חופשית של נתונים לא אישיים (FFD), חוק אבטחת הסייבר (CSA), ההנחיה על נתונים פתוחים. הנציבות עסקה גם בדיפלומטיה דיגיטלית שהכירה ב-13 מדינות כמספק הגנה נאותה על נתונים אישיים.

בתחומים מסוימים אומצה חקיקה ייעודית למגזרים רלוונטיים בנושא גישה לנתונים בכדי להתמודד עם כשלים בשווקים מסוימים, כגון שוק הרכב, ספקי שירותי תשלום, מדדי נתוני רשת חשמל או מערכות תחבורה חכמות.

החזון הוא שהאיחוד האירופי ייצור סביבת מדיניות אטרקטיבית כך שעד 2030, חלקו של האיחוד האירופי בכלכלת הנתונים - נתונים המאוחסנים, מעובדים ומועילים לשימוש חשוב באירופה - לפחות יתאם את המשקל הכלכלי שלו. המטרה היא ליצור מרחב נתונים אירופאי אחד - שוק יחידים מקורי למידע, הפתוח לנתונים מרחבי העולם - בו נתונים אישיים ותעשייתיים באיכות גבוהה, כולל נתונים עסקיים רגישים, הם מאובטחים וגם לעסקים יש גישה קלה אליהם. מרחב זה יהיה אמון על: זרימת נתונים בתוך האיחוד ובכל המגזרים, הקפדה על חוקים וערכים אירופיים, בפרט הגנה על מידע אישי, חקיקה להגנת הצרכן וחוק התחרות. הכללים לגישה ושימוש בנתונים יהיו הוגנים, מעשיים וברורים ויהיו מנגנוני ניהול נתונים ברורים ואמינים. תהיה קיימת גישה פתוחה אך אסרטיבית לזרימת נתונים בינלאומית.

27. דרך להתמודד עם מאגרי מידע שונים שלא מתקשרים ביניהם היא יצירת אגם נתונים, אשר מאפשר לאסוף את כל המידע הקיים בארגון במאגר מרכזי אחד. הדגש הוא על העברה של כל הנתונים ללא אבחנה בצורתם או בתבניתם. כל הנתונים נאספים במאגר הנתונים בצורתם המקורית, ללא שינוי או התאמות. כאשר הנתונים נגישים ניתן להפעיל תהליכי עיבוד על מנת לאפשר פעילויות ומשימות שונות כמו הפקת דוחות, החזיה (visualization) ופעילויות מתקדמות יותר כגון למידת מכונה. השם אגם נתונים מסמל את העובדה שהמידע צריך להופיע בצורתו הטבעית ולזרום בצורה חופשית ממקום למקום על פי הצורך.

109 <https://www.mckinsey.com/business-functions/organization/our-insights/unlocking-success-in-digital-transformations>

110 [/https://www.e-zigurat.com/innovation-school/blog/5-key-factors-successful-digital-transformation-2019](https://www.e-zigurat.com/innovation-school/blog/5-key-factors-successful-digital-transformation-2019)

111 Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the (Committee of the Regions, "A European strategy for data", Brussels, 19.2.2020 COM(2020

סיכום

28. **הוועדה ממליצה על רכישת ענן ציבורי מאחת החברות אשר עתידות להקים תשתית ענן בארץ**. גישה זו, רצוי שתכלול גם ליווי מעמיק של התעשייה ממנה רוכשים את השירות. מטרת תכולה זו היא לעודד מחקר ישראלי הן באקדמיה והן בתעשייה ככל שזו תתהווה עם הזמן, בחומרת state-of-the-art. מחקר כזה יתרום לפיתוח ההון האנושי והידע המדעי-טכנולוגי, ויכול לאפשר יתרונות יחסיים ברבדים העיליים של החישוב.

השירותים הנדרשים הם: שירותי אחסון מאובטחים, שירותי DB למידע מסוגים שונים, שירותי פרטיות והגנת מידע בפורמטים שונים, שירותי הנגשת מידע בפורמטים שונים, שירותי פיתוח web services ואפליקציית WEB, שירותי רשת מהירה ושירותי עיבוד ואנליטיקה.

28.1. הדרישות העיקריות הן:

- על הספק לכלול צוות תמיכה עבור כל אחד מאבני הבניין מעלה וכן להחזיק ברשימת ספקי שירות המסוגלים לבצע פיתוחי השלמה לשירותים אלה.

- על הספק להקים ולתחזק ספריית קוד משותפת למימושי רכיבים עיקריים בעולמות ה-AI וה-HPC שמותאמת ונבחנת על גבי התשתית המוצעת.

- תפעול כלל השירותים על ידי צוות תפעול מהארץ המחויב לתפעול ואחזקת כלל השירותים הניתנים 24\7.

- רציפות חשמל, פתרון גיבוי מידע.

- קישוריות מגובה ורחבת סרט (יש להגדיר את הרוחב הנדרש).

- על הספק להבטיח מימוש של 100% מיכולות העיבוד על פי דרישה למשימות קריטיות בנוסף לדרישה הבסיסית לשירותי העיבוד.

- אפשרות לשימוש בכלל השירותים העיקריים והרלוונטיים לבניה מלאכותית הקיימים בעננים אחרים (מתן אפשרות לייבוא שירותים).

28.2. דרישות כמותיות:

- Virtual machines – כ-40,000

- Vcpus – 100,000

- Vram - 300TB

- שירותי DB רלציונים ולא רלציונים – 800

- אחסון - active - 30 Petabytes

- אחסון - archive - 100 Petabytes

- שירותי GPU - לפחות 600 כרטיסים של V100 ויכולת שדרוג ל A100.

- יכולת וירטואליזציה של משאבי GPU (חלוקת כרטיס GPU למספר חוקרים).

29. הוועדה ממליצה על רכישת יכולות מחשוב על.

29.1. דרישות התשתית הן:

- נגישות בצורה מקוונת כשירות ענן לצד נגישות פיזית למפעילים או בליווי המפעילים לתשתית הניסוי.

- נגישות והרחבה דרך מספר תשתיות ענן שונות (AWS, RED HAT, AZURE) ותוך שימוש בכלי פיתוח המקובלים בשוק.

- מערכת מבצעית המשרתת את המשתמשים לצד מערכת ניסויית/לימודית המאפשרת חיבור של כלי תוכנה ורכיבי חומרה לצרכי הערכה (testing and evaluation).

- מערכת מרובת משתמשים על סמך מנגנון הקצאת משאבים מבוסס הקצאות ע"ב קריטיות, סוג משתמש, צרכים לביצוע המשימה, הזמנה מראש וכו'.

- יכולת לריכוז מקסימלי של משאבים לזמן קצר לטובת משתמש בודד – כדי להתמודד עם מודלים גדולים במיוחד.

- מערכת בקרה של נצילות וחיוב משתמשים לפי סוג המשאב (מעבדים, מאיצים, זכרון).

- מערכת מודולרית המאפשרת חיבור פיזי של מאיצים ומעבדים מסוגים חדשים, יכולות אחסון נוספות וכדומה – מיצרנים שונים.

- מערכת המאפשרת שדרוג רציף של כלל המרכיבים ותשתית פיזית (למשל שדרוג של 20% מהמרכיבים כל שנה).

- יכולת גידול - מערכת המאפשרת די מקום פיזי ואספקת חשמל בדמות המקבילות למחשב-על המדורג במקום ה-20 ב-Top500.

- אבטחת מידע - יכולות הפרדה מלאה בין המשתמשים בהקשר לקוד, למידע ונגישות לתשתית.

- כלים להתממת מידע על מנת לאפשר שימוש מקביל בין משתמשים שונים באותו מידע.

- כ"א בצוות התפעולי יהיה צוות ישראלי שיהיה בקיא ביכולת להתחבר לתשתית עצמה ויבצע הדרכה לצוותי מו"פ רלוונטיים באקדמיה, תעשייה ומגזר ציבורי כבשגרה.

- יכולת ביצוע וירטואליזציה על כרטיסי ה-GPU לצורך עבודה מקבילית של מספר חוקרים על אותם משאבים (לפחות ב-500%).

29.2. דרישות החומרה המינימליות הן:

- מס' ליבות מעבדים מבוססי UPC: 88,000 (שקול למקום 50 בעולם נכון ליוני 2020).

- מעבדי GPU: 1,000 בספציפיקציה של A100 (או כוח עיבוד מקביל). תינתן עדיפות למעבדים עם ניסיון בשוק של שנה לפחות.

- AI Accelerators של לפחות שלושה יצרנים שונים כאשר כל אחד מהם מרכז יכולת של 1 PetaFLOPS לפחות.

- סך החומרה לעיל צריכה להסתכם ביכולת ביצוע במקסימום משאבים בלפחות 350 PetaFLOPS לפי FP16 ולפחות 170 PetaFLOPS לפי FP32.

- זיכרון מהיר של לפחות 1000 TB (בתוך המכונות) ובנפרד מהמכונות נדרש לפחות 30PB של אחסון מהיר.

- רשת תקשורת מהירה בין ה-GPUs שמאפשרת Scale-out והרצת מודלים בפורמט Model parallelism ותקשורת מהירה ל-CPUs ולאחסון שתומכת בקצבי ה-GPUs.

29.3. דרישות שירותי נגישות ל-HPC:

- יישומים.

- ספריות – ספריות AI לאחר אופטימיזציה (כולל תחזוקה למשך כלל זמן השירות). כגון MXnet, TensorFlow ו-Caffe2.

- כלי עזר ופיתוח- זיהוי פנים וניתוח ווידיאו (Rekognition), מתן המלצות (Personalize), ניתוח תחזיות (Forecast), ניתוח טקסטואלי (Comprehend), המרת טקסט לדיבור (Polly), המרת דיבור לטקסט (Transcribe).

נספח א' - צרכי מחשוב של אפליקציות Machine Learning ו-AI

(נכתב ע"י בוריס אברמוביץ')

- כלי ניתוח ביצועים למעקב אחר שימוש בפועל במשאבים.

- קומפייילרים.

- חומרה ייעודית.

- כלי הדרכה ותמיכה – כגון AutoML של גוגל ו-TMA (Automatic Model-Tuning).

30. דרישת התקציב היא כ-1.90 מיליארד ₪ שישמשו להקמת התשתיות הלאומיות (מהם 1.08 למחשב העל, כולל תשתית תחזוקה ועדכון ל-5 שנים, וכ-0.86 לשירותי הענן). שני מרכיבי התשתית ישמשו הן להטמעת בינה מלאכותית במגזר הממשלתי והן למחקר ופיתוח.

31. כמו כן, אנחנו ממליצים על רכישת ענן ציבורי מאחת החברות אשר עתידות להקים תשתית ענן בארץ. גישה זו, רצוי שתכלול גם ליווי מעמיק של התעשייה ממנה רוכשים את השירות. מומלץ לרכוש שירותים מיותר מספקית ענן אחת על מנת לאפשר ביצועים מיטביים וגמישות.

מסמך זה נכתב בעקבות התייעצות עם רס"ן ויקטור מקרנוב אחד מהמומחים של אמ"ן בתחום AI ו-Machine Learning .

נבדקו צרכי המחשוב שלושה סוגי אפליקציות אופינות:

1. אפליקציות תרגום אוטומטי

2. אפליקציות speech to text

3. אפליקציות ורייטי מובנה – מדובר בהיתוך מידע ממקורות שונים ופורמטים שונים ל-data set קוהרנטי כדוגמת Siri או

Alexa

מבחינת צרכי המחשוב הדרישות של שתי האפליקציות הראשונות (תרגום ו-speech to text) דומות:

בשלב ה-training מדובר בצורך בכרטיסי GPU בודדים, במקרה של מודלים פשוטים יותר או קבוצות כרטיסים במקרה והמודל של רשת נירונים אינו נכנס לזיכרון של כרטיס בודד. קבוצות כרטיסים מחוברים כדוגמת השרת בקישור הבא:

[/https://www.microway.com/product/octoputer-4u-tesla-8-gpu-server-nvlink](https://www.microway.com/product/octoputer-4u-tesla-8-gpu-server-nvlink)

או קבוצות כרטיסים המחברים יחד באמצעות כלי וירטואליזציה לדוגמא:

<https://arstechnica.com/gadgets/2018/03/vulkan-1-1-adds-multi-gpu-directx-compatibility-as-khronos-looks-to-the-future>

דרישות ה-storage בשלב ה-training לאפליקציות אלה יכולות להגיע לסדר גודל של 1PB.

בשלב ה-inference הארכיטקטורה שונה. ה-inference באפליקציות אלה דורש שליפה מהירה מ-object store גדול (עשרות או מאות? PB) שיאפשר לשלוח פרטי מידע לכי חתכים מסוימים ולהעבירם דרך speech to text ו/או תרגום ולהציגו למשתמש. דגש כאן על שליפה מהירה מ-object store גדול (דוגמת youtube). השליפה המהירה ואינטראקטיבית היא הבעיה הטכנולוגית הקשה במקרה זה.

שלישית (ורייטי מובנה) נדרשת לבצע פעולות Extract, Transform, Load (ETL):

https://en.wikipedia.org/wiki/Extract,_transform,_load

כדי להפוך מידע רב ממקורות שונים בפורמטים שונים למידע מותך שיאפשר שליפות מהירות ויעילות. בשלב מאוחר יותר ייתכן שהמידע המותך יוכל לשמש כמקור data למערכות deep learning בדומה לאפליקציות 1 ו-2 אך לפי דעתו של ויקטור לשם נרצה להגיע בעתיד רחוק יותר כ-3 שנים מהיום (עתיד שבהחלט נמצא ב-scope של מיזם זה).

כך שכאן מדובר קודם כל במערכת big data "קלאסית" של storage מבוזר שמריצה framework בסגנון Hadoop. בהמשך נרצה להוסיף גם מערכת Inference הדומה לאפליקציות בסעיפים 1 ו-2.

בנוסף ל"ברזלים" עצמם יש **חשיבות קריטית** להנגשה של החומרה למשתמש בתצורה הדומה לספקיות הענן הגדולות. כלומר לאפשר דרך נוחה למשתמש ליצור קונפיגורציות מגוונות שילוב של גרסאות של מערכות הפעלה, גרסאות פייתון, גרסאות של frameworks וגרסאות דרייברים שונות. לפי ניסיונו של ויקטור עד 90% (!) מזמן החוקר/אנליסט יכול להתבזבז על ניסיונות להתקין/לקמפל/לקנפג גרסאות של חבילות שיאפשרו לו להשתמש בכלי התוכנה הדרושים לעבודתו. לכן אחת הדרישות החשובות ממרכז חישוב מרכזי היא לספק שירותי "IT בקליק", ללא שירות זה הערך המוסף של מרכז מחשוב מרכזי יהיה נמוך בהרבה.

נספח ב' - מאגרי מידע

(הבחינה בוצעה ע"י ד"ר יעל וילה)

מאגרי המידע הנחוצים למדינת ישראל חייבים להיות חלק מאסטרטגיה יותר גדולה: National Data Strategy. בצוות זה מוצג הנושא בזווית מסוימת של HPC, היות והשמירה, עיבוד, ניתוח ושליפה של נתונים ממאגרי מידע אלו הם חלק אינטגרלי של סוגיית HPC. בנייתו הראשוני שבמסמך זה ניסיתי לענות על השאלות הבאות:

· מהם הנושאים בהם ישראל צריכה תקציב מיוחד למאגרי מידע?

· האם בנושאים אלו ישראל צריכה ליצר את הדאטה או רק להיות אחראית על האגרגציה של הדאטה?

· האם ניהול (איסוף, Data Manipulation, הפצה) הדאטה הוא באחריות גופים ציבוריים (ממשלה, אוניברסיטה, צבא, בתי חולים...) או באחריות תעשיות פרטיות עם מנגנוני שיתוף?

לשם נוחיות, ריכזתי את הנתונים בטבלה.

(*) Topic	(**) Priority	Data Creation		Public Management		Use Cases Examples
		.1 Data Aggregation	.2 Private Management	.1	.2	
Agriculture						
Climate						
Consumer						Combatting Fraud, e-commerce
Energy & Water						Smart grid, Power system operations
Entertainment						
Finance						New loan models
Geographic						Intelligence, smart cities
Health	5	1		1		Precision Medicine, Preventive Medicine
Intelligence	4					Speech to text
IOT	4	2				Medical diagnosis, Critical Infrastructure
Malware	5	2		1		Anti-cyber, financial fraud
Public Safety						
Scan text						OCR
Surveillance						Smart cities, Security systems

(**) 1- Very low, ..., 5 – Very high

אפליקציה	מספר שרתים	מספר מעבדים	זכרון RAM כולל	זכרון HDD/ SDD כולל	מספר כרטיסי GPU	סוג תקשורת
Watson של חברת IBM	750	2880	16TB	?0	0	?
AlpaGo		1920			280	
speech to text					100-	
Training						
Inference	400		(!!)750TB	10PB	1000-	Infiniband
תרגום אוטומטי					100-	
Training						
Inference			75TB	1PB-5PB	1000-	
Advanced Surveillance				10PB-100PB		

נספח ג' - בחינת מודלים בעולם של מרכזי חישוב לטובת AI

(הבחינה בוצעה ע"י ד"ר הוד וירצברגר)

בחרתי לבחון את מרכזי החישוב המובילים לפי הדרוג של משאב החישוב שלהם ברשימת top500

בחנתי מרכז בארה"ב, מרכז באירופה, מרכז ביפן ובסין כמייצגים את מגוון התרבויות השונות העובדה שהם בטבלה מעידה שהם מרכזים מוכרים ופתוחים ולכן גם מוצלחים כי נגישים למגוון חוקרים

בראש הרשימה מחשב SUMMIT ב- DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory

מעבדה לאומית ממונת ע"י משרד האנרגיה האמריקאי

משמש למגוון תחומי מחקר - AI, ביולוגיה, פיסיקה, כימיה, CFD ...

מכיל מספר גדול של חוקרים בתחום תשתית ואפליקציה HPC לשרות המחקרים האחרים ולהדרכה בתחום HPC

300 פרסומים בשנה למחקרים שהשתמשו במשאבי המרכז

תוכנית מובנה להעצמת מצוינות בתעשייה ע"י עידוד שימוש במשאבי החישוב

הכלל העקרי שמנחה אותי בהשקעה בתשתית מו"פ הינו ROI - כלומר בכמה זמן נחזיר את ההשקעה בתשתית

(יש הרבה מחקרים שמראים במרכזי החישוב תורמים למחקר במדינה שלהם, לטביבה בה הם פועלים בזכות משרות למומחים ולצוות תומך מסביב ובהיותם מרכז תומך מחקר לתעשייה הקרובה להם שיכולה להשתמש ולהנות משרותיהם מפורט במסמך של מחבא)

השקעה בהקמת המחשב SUMMIT כ- 150 מליון דולר

בחלוקה ל-300 מחקרים שדווחו כפעילים שנתיים, מתחלק ל-500 אלף דולר למחקר בשנה

בעלות למחקר יחיד אפשר לקנות מחשב של 1000 ליבות לעומת שימוש ב-40000 ליבות של SUMMIT

כלומר אפשר להשלים פרויקט במקום בשנה בשימוש במחשב קטן עצמי לפרויקט ב-10 ימים במשאבי המרכז. אם מתוך 300 הפרויקטים לפחות חצי יוכלו להשלים מחקר תוך חצי שנה החסכון בעלות לאנשים והשקעה במחשב עצמי יחזירו את עלות המרכז.

הערכה שלי - תוך חצי שנה עד שנה החזר השקעה על ההקמה ע"י חסכון בזמן עבודה ורכש משאבים עצמיים לפרויקטים שישתמשו במרכז

סין National Supercomputing Center in Wuxi

מימון משרד המדע

שירותים לאקדמיה ולתעשייה

ייצור עצמי של המחשב

מפעיל מרכזי מצוינות עם התעשייה

300 מיליון דולר בשנה

תומך ב- 260 סטרטאפים, 200 חוקרים, 49 פרויקטים משמעותיים

החזר השקעה ROI דומה למרכז האמריקאי

(*) Brief Description of the topic

Agriculture - agricultural production, food security, rural development, nutrition, natural resources, regional food systems

Climate - [coastal flooding](#), [food resilience](#), [water](#), [ecosystem vulnerability](#), [human health](#), [energy infrastructure](#), [transportation](#)

Consumers - complaints received on financial products and services, including bank accounts, credit cards, credit reporting, debt collection, money transfers, mortgages, student loans, and other types of consumer credit

Energy & Water - hourly electricity operating data, including actual and forecast demand, net generation, the power flowing between electric systems

Entertainment - movies (Netflix), Music (iTunes)

Finance - financial services, including banking, lending, retirement, investments, and insurance,

Geographic - Israel geographic data, road data, population, stores, lights,

Health - Clinical data of patients, Genomic data, Epidemiology, Death cause per geography, clinical trials

Intelligence - Arabic recording (high variability) with matching text label,

IOT - Healthcare sensor data, critical infrastructure sensor data

Malware - Malicious executables, malware classification, malware traffic analysis

Public Safety - crime, roadway safety, safety in the workplace

Surveillance - video surveillance, face recognition

Scan Text - Arabic and Hebrew text samples on a variety of format

יפן (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST))

המרכז נבנה במיוחד לתמוך בתחום AI

נותן שירות דרך ענן לפי תשלום עבור כמות משאבים נצרכת

מופעל עי המרכז לאומי לקידום טכנולוגי - תקציב המרכז 1 מיליארד דולר לשנה מימון ממשלתי ומענקי מחקר מתוכם ממומן גם מרכז החישוב

מאות חוקרים תעשייה אקדמיה מכוני מחקר ביפן

ROI דומה לקודמים

שוויץ (Swiss National Supercomputing Centre)

24 מליון דולר שנתי

הרבה מיזמים בין לאומיים לשת"פ

מודל prace שת"פ אירופאי במשאבי חישוב למחקר

עיקר הפעולה בתחום מחקר אקדמי לקידום מטרות לאומיות בין לאומיות

ROI דומה לקודמים

לכל המרכזים המצליחים מאפיינים דומים:

מודל הקמה דומה בכולם מימון ממשלתי לתשתית וכח אדם

מודל מימון דומה - תקציב מחקר שנתי ממשלתי או מענקי מחקר לפרויקטים הדורשים משאבים

שת"פ תעשייה - עזרה במשאבים לפרויקטים משותפים לא ראיתי דרישה ישירה למימון

שת"פ מחקר בינלאומי בתוכניות בינלאומיות עם תקציב

ROI של חצי שנה עד שנה על עלות ההקמה

עלות הקמה

אני מצטט מסמך ישן יותר שהוכן באוני' ת"א - מחשב על בסדר גודל של 200,000 ליבות 12 מליון דולר לשנה

כולל עלויות הפעלה אחזקה וכ"א (סה"כ 60 מליון דולר לתקציב חמש שנתי)

מודלים מעניינים להפעלה

Prace - מיזם אירופאי לקידום מחקר. כל מדינה בארגון תורמת משאב חישוב וביחד נותנים לחוקרים תחת ביקורת הועדה משאבי חישוב

מודל openmas cloud secure עם מצב מאובטח להעברת בעלות לחיל האויר בחרום - מאפשר להפעיל את יחידות החישוב במצב חומרה עירומה עם דרישות אבטחה חמורות והצפנה בעת חרום כל יחידות החישוב מועברות למצב מיוחד מאובטח המאפשר לחיל האויר לקבל בעלות ולהריץ מערכת מאובטחת

מבנה חומרה דומה בכולם

הרבה זכרון בכל יחידה

Nvidia gpu

תקשורת מהירה בין יחידות החישוב

מערכת קרור מיוחדת או קרור מים

מערכת קבצים מיוחדת מהירה (GPFS,LUSTER)- לקריאת bigdata ושמירה של קבצים גדולים בד"כ מערכת ממוקבלת המאפשרת קריאה כתיבה מואצת במקביל , סטנדרט תקני שרתי Hadoop, Spark

הנגשת המשאב שימוש בגישת Cloud

דרישות מכ"א שיפעיל את הפרויקט

כא ייחודי למרכז חישובי HPC ו-AI

הנחת היסוד - המרכז הינו משאב HPC כללי ולכן יתן מענה גם למחקרים בתחומים אחרים אנשי HPC מנוסים יוכלו לתת מענה גם למחקרים כללים וגם ל-AI, בנוסף הכשרה של אנשי HPC לתמיכה ב-AI הינה קלה

אנשי AI חשובים לתמיכה במחקרי AI אולם לא ברור שיש שם אנשים עם רקע ב-HPC והכשרה שלהם גם HPC תהיה קשה

נספח ד' - השוואת עלות הקמת מרכז חישובי ל-AI בענן מול בניית מרכז מקומי

(הבחינה בוצעה ע"י הוד וירצברגר בעזרתו של איל אסטריין)

סה"כ עלות רכש חומרה 41 מליון דולר - יספיק ל-3-5 שנים

עלות אחזקה ואנשים ל-5 שנים - 71 מליון דולר

סה"כ עלות 112 מליון דולר. נשים לב שהעלויות כאן גדולות יותר, אך גם כיוונו למחשב יותר חזק.

ההמלצה

הקמה עצמית - עלות הקמה עצמית יותר נמוכה עם אחזקה ויכולות חישוב ותקשורת מתקדמות יותר.

וכמובן מידע וחומרה בשליטה של ישראל ללא חשש מעצומים או והגבלות.

שימוש בענן מוגבל בעת ההקמה ואח"כ לפי הצורך

אולם כדי להאיץ את התוכנית כיון שהקמת המרכז תיקח בין חצי שנה לשנה אפשר להתחיל לגייס אנשים ולהקים מרכז חישובי קטן בענן לבחון את הטכנולוגיה הכי טובה כלי עבודה סביבת עבודה הכי טובה הכשרת אנשים בכלים והקמת כל כלי השימוש הנדרשים כך שברגע שהמרכז יהיה מוכן מבחינת חומרה ההתקנה כבר תהיה לפי מפרט מוגדר מראש על סמך מערכת עובדת בענן.

להלן רשימת מרכזי חישוב שהוקמו במדינות מאותו סדר גודל של ישראל ושהמחשב נמצא ב-100 הראשונים בעולם:

מדינה	מיקום ב-Top100	תקציב שנתי	כ"א	עלות קניה
Finland	#81	8.9MEuro	75	10.8MEuro (2012)
Poland	#59		30	
Ireland	#70	3.5MEuro	21	
Sweden	#72	4.6MEuro	33	11.7MEuro (2014)
Czech Republic	#67	2.6MEuro	29	10MEuro (2014)
Netherlands	#97			14.5MEuro (2013)
Average	#74	5MEuro	38	12MEuro

לפירוט נוסף ומסמך שהוכן ע"י איל אסטריין ניתן לפנות לד"ר ארנה ברי.

שרותי ענן למרכז AI לאומי

שימושים נדרשים:

1. מרכז חישובי מבוסס ענן

עלות - 22 מליון לשנה למחשב מוגבל לעומת הפתרון הנדרש אבל יתן פתרון לשלב בייניים

2. מרכז נתונים ענני עבור אפליקציות AI - לפחות 20PB בתקשורת מהירה עלות 20 מליון דולר לשנה

היעד: מרכז דומה למרכז היפני 1000 יחידות חישוב עם מעבדי אינטל רבי ליבות ובכל מכונה 4 כרטיסי נוידיה GPU

העלות הכי משתלמת הינה התחייבות לשלוש שנים על שימוש מלא

בענן אמאזון בעלות 1.8 מליון דולר לחודש. כלומר, 22 מליון דולר בשנה ו-66 מליון ל-3 שנים

אולם, מדובר על על מכוונת עם מספר מעבדים קטן יחסית וזכרון קטן יותר מה שמוריד מהביצועים כלליים וגם מוריד ביצועי כרטיסי GPU הקשורים למכונה בגלל חניקה בכמות הנתונים הנגישים לעיבוד

ורשת בין המכונות איטית של 10 גיגה יחסית לסטנדרט של IB

העלות למכונות בסטנדרט גבוה - מעבדים רבים, הרבה זכרון ורשת תקשורת IB - תעלה פי 3 יותר 66 מליון לשנה

בנוסף לא הכנסנו כאן עלות אחסון - 2PB סטנדרטים עולים 500 אלף דולר לשנה, עלות לשרת מהיר מבוסס HADOOP והעברת מידע מהירה מייקרת כנראה פי 3-4

לעומת זאת, עלות הקמת מרכז עצמי ברמה של 100 הטובים בעולם (50% מהעלות לחומרה ו-50% לאנשים בעבודה המקורית של אברבנאל) הינה 10 מליון דולר בשנה ו-55 מליון דולר. כדאי להדגיש כי ההצעה למחשב עם 58,000 ליבות לא תייצר מחשב שייחשב מוביל בעולם, אלא רק בערך במקום ה-100.

הסבר	פריס	מקור	עלות לשנה	עלות לשנה	עלות ל-5 שנים	עלות ל-5 שנים
קניית מחשב (כולל דיסקים ורשת)	חומרה	לפי חישוב של 300\$ ל-CORE	Top 100 - 58,000 cores	Top 20 - 200,000 cores	עלות ל-5 שנים	עלות ל-5 שנים
אחסון של הציוד כולל חשמל ומיזוג	הוסטינג	לפי 5000\$ ש"ח לארון כולל חשמל	\$600,000	\$1,900,000	\$3,000,000	\$9,500,000
עובדים=38, עלות שכר=360,000\$ (מוטבע)	צוות IT		\$3,700,000	\$3,700,000	\$18,500,000	\$18,500,000
תוכנות ורשימות (הערכה)	תוכנה וניהול		\$300,000	\$300,000	\$1,500,000	\$1,500,000
תחזוקת מחשב - 13%	תחזוקה		\$2,300,000	\$7,800,000	\$11,500,000	\$39,000,000
אבטחת מידע (הערכה)	חומרה ותוכנה		\$600,000	\$600,000	\$3,000,000	\$3,000,000
סה"כ			\$10,400,000	\$25,700,000	\$55,000,000	\$128,500,000

ההערכה למעלה היתה למחשב המבוסס CPU. ניתן לבצע הערכת עלות למחשב חישובי GPU

דגם מחשב AI Bridging Cloud Infrastructure של היפנים מקום 7 בעולם 1088 יחידות חישוב מבוססות GPU

עלות יחידת חישוב מבוססת 2 xeon זכרון גדול וחיבור IB מחיר 8000 דולר

4 כרטיסי v100 nvidia מחיר משוער 7500 דולר לכרטיס סה"כ 30000 דולר

מחיר כל היחידה 38000 דולר

כולל אחריות ושרות ל-3 שנים

קבוצת עבודה 2 – תשתיות אחסון וקישוריות

3. מרכז נתונים ענני לאומי – 20PB בתקשורת רגילה 5 מיליון דולר לשנה

לפי התוכנית הלאומית של ארה"ב להנגשת מאגרי מידע ממשלתיים שרתי מידע עתידיים מהיום והלאה יעבדו בתצורת ענן GOV ולא כשרתים ייעודיים. כמובן שהענן האמריקאי ממשלתי יושב בשרתים הממוקמים בתוך ארה"ב וכפופים לחוקי המדינה.

יתרונות:

אפליקציות HADOOP שרתי אחסון ממוקבלים עתירי ביצועים קיימים לשימוש מיידי
אפליקציות AI- שרתי tensorflow ממוקבלים עתירי ביצועים קיימים לשימוש מיידי
אפליקציות מחשוב הנדסי לתחומים שונים קיימות במייד

אפשר להקים מרכז שרתים לתוכנית ה-AI תוך מספר שבועות עם צוות מתאים של 5-10 אנשים מנוסים

עלות כ- 22 מיליון דולר שנתי שאו יתווספו לעלות הקמת מרכז חישובי מקומי או יהיו חלק מהעלות הכללית עם קביעת תמהיל אופטימלי – ענן "אמזוני" + ענן עצמי לפי עומס השימוש

החסרון בפתרון ענן –

עלות שימוש מעל שנה מתחילה להיות פי 2-3 לעומת הקמת השירותים בחווה מקומית עם ציוד עצמי
חשש שספק השרות יהפוך את המידע לבן ערובה כדי להגדיל עלות השימוש או לכבול אתנו רק אליו
חשש מהתקפות סייבר או תקלות רשת שיגרמו לניתוק מהמידע והשרותים בזמנים קריטיים
חשש מחרם BDS דרך הגבלת אפליקציות ושימוש במשאבי ענן עי המדינות המארחות
אי יכולת להסתמך על ענן בשעת חרום לתת שרתים מידיים חיוניים וקריטיים

ההמלצה: הקמת מרכז חישובי עצמי שכדי שיתן מענה מיידי יהיה מבוסס ענן מצומצם עם צוות 5-10 אנשים שיגדל עם הזמן במקביל להקמת והפעלת המרכז המקומי ובנית תמהיל ענן "אמזוני" + ענן מקומי אופטימלי כלכלי עליו יחליט מנהל המרכז וועדה מייעצת.

1. הקדמה

- 1.1 קבוצת עבודה מספר 2 התרכזה בנושא ניתוח התשתיות הדרושות ל"פריסת" AI ברמה המדינתית באופק של חמש שנים מהיום (כלומר 2021 עד 2025).
- 1.2 הניתוח נעשה בגישת Bottom-up כלומר מתוך הבנת הצרכים לאוכלוסייה בת 10 מיליון אנשים בהנחה שישראל תהיה בעמדת מובילות בתחום ה-AI.
- 1.3 בניתוח הזה התעלמנו בכוונה מנושא מקור המימון וניתחנו צרכים בלבד.
- 1.4 הנתונים מניחים התפתחות אגרסיבית למדי בתחום הצרכים, מה שלדעתנו מוצדק אם בכוונתנו ליצור מובילות טכנולוגית.
- 1.5 הנושאים שנותחו כללו:

- המבנה ההיררכי של הרשת
- דרישות המחשוב, האחסון, התקשורת, האנרגיה והעלות של כלל התשתיות
- צרכי השרידות ברמה הלאומית (כאן רק נגענו בפני השטח בשל חוסר ידע בתחום)
- תפיסת האבטחה ברמה הלאומית
- תחומים בהם כדאי להשקיע כדי ליצור יתרון טכנולוגי ועסקי למדינת ישראל

2. מבנה הרשת

2.1 הרשת בנויה כמבנה היררכי הכולל מספר שכבות (ציור מספר 1):



2.2 מכשירי קצה (devices or things) – דוגמאות יכולות להיות מחשבים שולחנים וניידים, טלפונים, נקודות מכירה, מכשור רפואי, מצלמות חכמות, מכונות, סנסורים בעיר חכמה, סנסורים ואקוואטורים ברצפת יצור, מכונות וכדומה. אלו נקודות הממשק עם העולם הפיזי ובחלק מהמקרים המשתמשים האנושים.

2.3 מחשבי הקצה (edge compute node) – יחידת מחשוב הנמצאת בקרבה פיזית למכשירי הקצה שמבצעת אגרגציה וניתוח ראשוני של אינפורמציה ממספר נקודות קצה.

2.4 צמתי תקשורת (network hub) או חוות שרתים אזוריים (regional data center) – נקודות אגרגציה אזוריות ברשת. במבחינה עסקית יכולות להיות בבעלות ספק שרותי הרשת (operator) או בבעלות ספק שרותי הענן.

2.5. ליבת הרשת (core network) – הנתבים והמתגים המשמשים את הרשת.

2.6. חוות שרתי הענן (cloud data center) – השרתים עליהם רץ הענן שמספקים את שרותי המחשוב והאחסון בענן.

2.7. ציור 1 מציין את ההשקעה הממוצעת מנקודת הקצה. יש לציין שככל שמתרחקים מנקודת הקצה גדלה ההשקעה אך גם התפלגות ההשקעה שיוצרת אפקט חזק של חוסר דטרמיניסטיות בזמן הגישה.

3. שיקולים במבנה הרשת

3.1. ישנן מספר סיבות שדוחפות לגישה ההיררכית:

• השהיה – ישנם מכשירי קצה רבים הרגישים להשהיה בגישה להיררכיות המרוחקות

• זמינות – התלות בענן יוצרת בעיה בעת נתק בתקשורת

• פרטיות וסודיות – במקרים רבים יש חשש מהעלאת הנתונים לענן משיקולים של פרטיות וסודיות

• עלות התקשורת – טיפול מקומי באינפורמציה מקטין את הצורך להעלות נתונים לענן וחוסך עלויות

3.2. קשה להעריך את חלוקת אחוזי המחשוב ברמות השונות בהיררכיה אך יש מספר נתונים מעניינים שמגיעים מאנליסטים שונים:

• בשנת 2019 - 40% מהאינפורמציה שנוצרת בהתקני IOT תאגר, תנותח ותשמש להחלטות – מבלי שתגיע לענן (כלומר המעגל ייסגר ב-EDGE)

• בשנת 2025 - 55% מכל המידע שיווצר – ייוצר בהתקני IOT

4. צרכי מחשוב, אחסון והספק לשנים 2021-2025

4.1. הטבלה הבאה מציגה את הערכתנו לגבי צרכי מחשוב, אחסון והספק לשנים 2021-2025:

		Commerical "Thing" (complete product)	Autonomous Car (complete AS system)	Edge Compute (complete product)	AI cloud (single blade)
Inference	Compute (TOPS)	35-50 TOPS	1000 TOPS	200-600 TOPS	4000-6000 TOPS
	Power (Watts)	5 W	100-300 W	30-100 W	600-1000 W
Training	Compute (TFLOPS)	5 to 10 TFLOPS	NA	25-30 TFLOPS	1000-2000 TFLOPS
	Power (Watts)	5 W	NA	20-80 W	600-1000 W

4.2. הערות:

• יחידת המדידה למחשוב היא TERA OPERATIONS PER SECONUD ועבור TRAINING היא TERA FLOATING POINT OPERATIONS PER SECOND

• ב-INFERENCE, הפעולות הן על 8 ביט, וב-TRAINING על 32 או 16 ביט

• ההערכות מתייחסות למשימות ה-AI בלבד ואינן כוללות משימות אחרות שיתכן שרצות על אותה חומרה

• הנתונים בעמודה של הענן מתייחסים ל- BLADE בודד

• ההערכות מתבססות על סיבוכיות האלגוריתמים כיום ועל התחזיות של גידול משמעותי בסיבוכיות בשנים הקרובות במטרה לשפר את הדיוק של ה-INFERENCE תוך ניצול יכולות החומרה שהולכות וגדלות ועל הצורך להתמודד עם משימות AI יותר ויותר מורכבות.

• השיפור ביכולות הסיליקון יאפשרו לנו לבצע יותר ויותר TOPS ב-SOC אך לא מורידות את דרישות ה-TOPS – להיפך "עם האוכל בא התיאבון" והיכולת לבצע יותר ויותר TOPS בחומרה ידחוף את התעשייה למשימות AI יותר ויותר מורכבות. לדוגמא ב-EDGE כיום נדרש 1 TOPS עד 1.5 TOPS לביצוע AI על ערוץ וידאו בודד אך תוך חמש שנים מעריכים ש-EDGE COMPUTE

יבצע AI על 100-50 ערוצים עם 4-6 TOPS.

5. צרכי תקשורת לשנים 2021-2025

5.1. בהתייחס להיררכיית הרשת והשימושים השונים ב-3 רמות היררכיה – נקודות קצה (משתמשים, IOT), שרתי קצה ומרכזי חישוב.

• משתמשי קצה – חיבור בקצב 1Gbps, נפח 15GB/day, רשתות 5G, FTTH (Fiber to the Home)

שימוש עיקרי – צריכת תוכן

• ציוד קצה – IOT חיבור בקצב 1Mbps (BT, Zigbee, Sub 1GHz, LoRa) ועד 1Gbps (5G, FTTH, Industrial Ethernet, TSN)

• שימוש עיקרי – יצירה ושידור תוכן של חיישנים בתחומי התעשייה, חקלאות, ערים, תחבורה, מכשירים ביתיים

• שרתי קצה (Edge) – חיבור ל-IOT מחד ולענן מאידך. כ-100-1000 התקני קצה לשרת

שימוש עיקרי – סינון AI בגישה לענן, איגוד נתונים

• מרכזי חישוב (ענן) – תשתית 1-10Tbps, נפח כולל 100PB/day בקצב של 1Pbit/s. כ-10 מרכזים ארציים לתמיכה ב-3 מיליון צרכנים (בתי אב) וכ-1-10 מיליון שרתי קצה

שימוש עיקרי – בניית מודלים של AI, AI Inference, הצפנה, אחסון ואחזור מידע

5.2. כרגע לא ברור לנו אם ומתי נראה את ההופעה של תקשורת קוונטית. בשלב זה נראה שהיא נעזרת בתשתיות סיבים ורדיו קיימות עם אמצעי חומרה ייעודיים בקצוות ובקצב נמוך ומשמשת בעיקר לאימות הצפנה/חתימות. (ראה:

<https://www.picoquant.com/applications/category/quantum-optics/quantum-communication>)

6. המשמעות האנרגטית לשנים 2021-2025

6.1. הטבלה הבאה מציגה את המשמעות האנרגטית לשנים 2021-2025:

	Things	Cars	Edge Nodes	Clouds	Network	Storage
TOPS	50	1000	500	5000	100GB/sec	1PB
Power (Watts)	5	200	100	1000	25	8000
% usage	50%	50%	100%	100%	100%	10%
Population	10000000	2000000	100000	10000000	10000000	10000000
% Penetration	50%	20%	100%	70%	100%	1%
# per capita	3.0	1.0	1.0	0.1	1.0	1.0
Total TOPS needed	375,000,000	200,000,000	50,000,000	3,500,000,000		
Grand total in EOPS						4,125
Total Watts	37,500,000	40,000,000	10,000,000	700,000,000	250,000,000	80,000,000
Total in Mwatts	37.5	40	10	700	250	80
Grand total in Gwatts						1.12

(*) TOPS = Tera (10 to the power of 12) Operations Per Second,

EOPS = Exa (10 to the power of 18) Operations Per Second

6.2. הערות:

• אחד המדדים שהשתמשנו בו להערכת הצריכה התבסס על גודל האוכלוסייה ומידת השימוש הצפוי של כל אזרח במכשור ויישומים מבוססי AI. ריכזנו את ההנחות בגיליון אלקטרוני המאפשר לכל אחד לשחק עם המספרים כרצונו. מנגד, התקשינו להעריך את התפוצה של מערכות ת"מ בענני ביניים (Edge Computing) למרות שברור כי מגמת הערים החכמות והתחבורה האוטונומית יביאו לעלייה דרמטית בכמותם.

• החישובים מתבססים על ההערכות המופיעות בשקף הקודם

• הערכות מתייחסות למשימות ה-AI ואינן כוללות משימות אחרות שיתכן שרצות על אותה חומרה

- אחוז השימוש מצוין את החלק ביממה בו המכשיר פועל

- האוכלוסייה מתבססת על 10 מיליון תושבים בישראל בשנת 2023. לגבי מכוניות המספר מצוין בתי אב. לגבי EDGE NODES המספר מניח אחד למאה תושבים.

6.3. משמעויות:

- לא נופתע לגלות כי מחשוב הענן תופס את המקום הראשון בצריכת האנרגיה. אולם המרכיב השני בגודלו, התקשורת, זוכה בדרך כלל להתעלמות כאילו ניתן ב"חינם".

- גורם נוסף שיש לתת עליו את הדעת היא העובדה כי מרבית ענני החישוב הגדולים המשמשים כיום את התעשייה נמצאים מחוץ למדינת ישראל ובמקומות בהם עלות האנרגיה נמוכה בשל המצאות מקורות זולים לייצור חשמל וקירור התשתית. משיקולי חוסן אזורי, בטחוני וכלכלי, יהיה בעתיד צורך לספק תשתית כזו ברמה המקומית והיא תגורר כמובן קפיצת מדרגה בדרישות האנרגטיות. למרות שפע הגז המצוי לחופינו, מן הראוי לשקול שימוש באנרגיות מתחדשות וביזור התשתיות לטובת מענה כזה.

- המספר הכללי של 1.12 גיגה וואט רגיש מאוד להנחות שמציבים לגבי אחוזי השימוש בעמודות הענן והתקשורת אבל חשוב להבין שהוא מייצג כ-6% מתצרוכת החשמל בישראל כיום וכ-5% מהתצרוכת בשנת 2021. בהנחות קצת יותר אגרסיביות אפשר בקלות להגיע ל-10% מתצרוכת החשמל בשנת 2021.

7. המשמעויות הכספיות לשנים 2021-2025

7.1. בסעיף זה ננסה להעריך את סך כל ההשקעה הכספית הדרושה להקמת תשתית המחשוב לתמיכה בצרכי ה-AI של מדינת ישראל בשנים 2021 ל-2025

7.2. חשוב לציין שאין בכוונתנו להניח הנחות כלשהן על מקור המימון – ממשלתי, ציבורי, חברות או אנשים פרטיים. יש כאן רק ניסיון להבין את המשמעות הכספית כחסם עליון

7.3. חשוב גם לציין שלא כל כוח המחשוב הזה חייב להיות בארץ

7.4. הטבלה הבאה מציגה את המשמעויות הכספיות לשנים 2021-2025:

	Things	Cars	Edge Nodes	Clouds
TOPS	50	1000	500	5000
% usage	50%	50%	100%	100%
Population	10000000	2000000	100000	10000000
% Penetration	50%	20%	100%	70%
# per capita	3.0	1.0	1.0	0.1
Total TOPS needed	375,000,000	200,000,000	50,000,000	3,500,000,000

(*) TOPS = Tera (10 to the power of 12) Operations Per Second,

EOPS = Exa (10 to the power of 18) Operations Per Second

7.5. הנחות:

- נקודת יחוס: מחשב של 1088 יח חישוב שבכל אחת 4 כרטיסי NVIDIA VOLTA V100 כלומר סה"כ 22 מיליון מעבדי cuda נותן ביצועים של AI PetaFLOPS 550 בעלות של 20 מיליון דולר לשנה או 100 מיליון דולר ל-5 שנים (מחירי 2019) עם תקשורת מהירה וחוות אחסון גדולה שיתמוך בתוכנית שנתית של 250 מיליון דולר השקעות בפיתוח ותשתית AI ביפן כחלק מתוכנית רב שנתית

- כלומר במחירי 2019 550POPS עולה 20 מיליון דולר עבור מחשוב, אחסון ותקשורת.

- נניח שקצב הוזלת החומרה הוא 10 אחוז בשנה כלומר תוך חמש שנים (2024) המחיר יהיה 12 מיליון דולר ל-550 FLOPS או 550,000 טרה FLOPS או 21.8 דולר לטרה FLOPS

- ההנחה היא שבשנת 2024 אחוז ניכר מיכולות המחשוב ישמש ל-INFERENCE ולא ל-TRAINING. בעוד ש-TRAINING משתש בחישובי FLOATING POINT ה-INFERENCE ישמש בפעולות של 8 ביטים או פחות, לכן ניתן להניח שיוצע ברובו במאיצי תוכנה יעודיים. לפיכך ניתן להניח שהעלות תרד פי 20 כלומר בסביבות 1 דולר ל-TOPS.

7.6. משמעויות:

- המספר הכללי של ה-TOPS בטבלה הוא 4,125,000,000 ובהנחה של 1 דולר ל-TOPS מקבלים 4.125 מיליארד דולר או כ-15 מיליארד שקל כחסם עליון לעלות המחשוב, אחסון ותקשורת לצורכי AI במדינת ישראל בשנת 2024

8. צרכי שרידות לשנים 2021-2025

8.1. הנחות עבודה:

- תשתית מחשוב מרכזית (ענן) מבוססת ספק זר הממוקמת פיזית בישראל אך בעלת קישוריות משנה לחו"ל

8.2. דרישות יסוד

- יכולת ריצה לא מותנית בתקשורת חו"ל רציפה עבור תהליכים שיוגדרו כקריטיים

- הסתמכות על כ"א ישראלי סוג "הלאמת" התשתית כמענה לאירועי חרם

- מידע עדכני על כלל פעילות המשק הישראלי

- מענה לעיריות, גופי תמ"ק, ושירותי חירום (כמוגדרים על ידי רח"ל) בכל זמן שהוא

- חיבוריות חו"ל (גם אם צרת סרט) לשירותים חיוניים

- יכולת תשתית של ספק הענן מותקנות באופן מלא בישראל עבור שירותים שיוגדרו כקריטיים

- יכולת FOG לעבודה ללא קישור במעלה השרשרת

9. תפיסת אבטחה בראיה לאומית

9.1. הנחות עבודה

- קיום של בריכת מידע לאומית המכילה מידע ממקורות שונים

- שימוש בענן ככלי הנגשה מרכזי

9.2. דרישות אבטחה

- חקיקה והגדרה לאומית של מידע, פרטיות, אנונימיזציה, הרשאות ועוד

- תכנון כל מערכת כ- privacy by design במסגרת זו:

- היכולת למחוק מידע על אדם בודד

- הגנה על מידע ו"מידע על" בתפיסות מתקדמות מפני זיהוי של אדם בודד או מידע עליו

- שימוש ביכולת עיבוד מתקדמות על מידע מוצפן

- שמירה על זמינות המידע והמערכות לאורך זמן (כל יכולת מחשוב וכל יחידת מידע ניתנת לתפעול לכחות בשני אתרים נפרדים באופן מלא ומרוחקים גאוגרפית – ליישומים קריטיים אף חלוקה לשלוש, בנוסף הגנה גיבוי "קר" למידע וליישומים לטובת מענה לקטסטרופה או לפגיעת עומק במערכות)

• יכולת ניטור ובקרה כל רכיב, פריט מידע, פעילות תוכנה

• עמידה בחקיקה ובתקנות לאומיות ובינ"ל בתחום

• עמידות ציוד אבט"מ בקצביים נדרשים הן ברמת הקו והן ברמת הביצוע, יכולת נידוי והתמודדות עם מקורות תקיפה משתנים גם גנריים

• יכולת התמודדות מול תוקף מכונה נבון

• יכולת השתנות של תשתיות המערכת ושל תהליכי ריצה

• יכולת ניטור והשפעה חוץ מדינתית ויכולת בידוד מדינתית

• הצפנה עמידה קוונטית

• פיצול AIR GAP למידע רגיש ביותר או בטחוני

• הגנה מבוססת רכיבי FOG ונקודות עיבוד בתוספת הגנה רישית ולא הגנה על כל רכיב קצה

10. אבטחת חומרה (Hardware Security)

10.1. הקמת תשתית לאומית לבדיקת תאימות לפי התקנים האירופאיים והאמריקאים (BSI ו-FIPS 140) וכן פיתוח תקנים מותאמים לאיומים מודרניים.

10.2. לשקול הקמת תשתית לאומית לתכנון ומימוש מעבד כחול לבן הכולל אלמנטים של חישוב, הצפנה וזיכרונות מוגנים.

10.3. הקמת תשתית לאומית לתכנון ומימוש של IPs סטנדרטיים מוגנים (DDR controllers, PLL, JTAG, IOs וכו').

10.4. הקמת מעבדה מרכזית ומוסמכת לפיתוח מתודולוגיות של זיהוי חומרה זדונית ובחינת מתודולוגיות לביצוע התקפות ערוץ צד והתקפות חומרה אחרות.

10.5. הקמת תשתית חינוכית למהנדסים ללימוד טכניקות התקפה מודרניות ולימוד שיטות תכנון למעגלים בטוחים.

11. יצירת יתרון טכנולוגי לישראל

11.1. היכן בשרשרת הערך כדאי להתרכז ב-AI:

תחום	האם כדאי לישראל מבחינה עיסוקית	שיקולים	האם חשוב לישראל מבחינת עצמאות או שרדות	שיקולים
תהליך יצור סיליקוני (process technology)	לא	קשור ישירות למערך יצור	לא	בחנה שלא יהיה יצור בארץ
יצור סיליקון (fab) מקומי בבעלות ישראלית	לא	השקעות ענק (10 מיליארד דולר למפעל יצור) וסיכוי נמוך להחזר	יתכן (משיקולי אבטחה) – אך לא מעשי	קנית פתרונות סיליקונים בחו"ל מגדיל סכנה של סוס טרויאני בחומרה
חומרה יחודית כנכס אינטלקטואלי (IP) למכירה (licensing)	כן חזק	יוצר יחודיות ונקודת השפעה בהשקעה סבירה אך המודל העיסוקי (licensing) הוא בעייתי מבחינת המוטנציאל העיסוקי	לא	
חיצוי (SOC)	כן	מאפשר למנף יחודיות ולהביא אותה לכדי ביטוי. מביא אותנו למקום טוב יותר מבחינת מימוש מוטנציאל עיסוקי	יתכן	SOC ישראלי נותן לנו שליטה טובה יותר מבחינת אבטחה ויכולת לשלב מנגנוני אבטחה יחודיים לישראל
אלגוריתמים	כן חזק	יוצרים יחודיות ונקודת השפעה בהשקעה סבירה אך המודל העיסוקי (licensing) הוא בעייתי מבחינת המוטנציאל העיסוקי	לא	
קשה (FIRMWARE)	לא	תוכנת תשתית שלא מייצר יחודיות או מוטנציאל עיסוקי אך דרושה להרמת מערכת	לא	
אפליקציות	כן	יכול ליצר יחודיות ויוצר מוטנציאל עיסוקי משמעותי	לא	
מערכות שלמות	כן	המוטנציאל העיסוקי המקסימלי. בונה גם את ההבנה השלמה של מערכת ה-AI.	כן	מאפשר אופטימיזציה מקסימלית לצרכים הישראליים

12. סיכום ומסקנות

12.1. התרחבות השימוש ב-AI תיצור עומס חישובי משמעותי בשנים הקרובות. העומס החישובי הזה יופיע בכל רמות ההיררכיה מנקודות הקצה ועד לענן. הדבר יבוא לידי ביטוי במשאבי חישוב, אחסון ותקשורת. ההערכות שלנו התבססו על אנליזת Bottom-up וניתן לסכם אותן במספרים הבאים לשנים 2021-2025:

- סך כל דרישות המחשוב ברמת המדינה ל-AI הוא (4125EOPS, (4125 x 10 to the power of 18 Operations per second) סך כל דרישות האנרגיה ברמת המדינה ל-AI הוא 1.12 Gwatts
- סך כל העלות ברמת המדינה מעורך ב-15 מיליארד שקל

12.2. חייבים גם להבין את המשמעות האנרגטית של השינוי הזה – סה"כ האנרגיה הנדרשת יכולה להגיע לבין 5 ל-10 אחוז מכל יצור החשמל במדינה. יצוין כי החישוב בענן הנעשה ברובו בחו"ל מעביר חלק משמעותי מהדרישה האנרגטית הזו למרכזי חישוב בחו"ל וניתן לראות זאת כאילו ישראל "מייבאת" חשמל.

12.3. כדי להיערך לגידול בצורך החישובי על מדינת ישראל להבין את צורכי המחשוב של AI ולהחליט מה מתוך אלו חייב להיות בישראל ולהמשיך לתפקד בעת חירום. בהתאם להערכה זו יש לוודא נגישות ושרידות מערכות אלו בעת חירום כולל תקשורת ואספקת חשמל. בדו"ח זה אנו מציינים את סך כל הדרישות החישוביות והאנרגטיות, ואת המאפיינים הישרדותיים אך אין ביכולתנו לאפיין במדויק את הדרישות בעת חירום.

12.4. כדי ליצור יתרון טכנולוגי לישראל בתחום חומרת AI אנו ממליצים להתרכז בתחומי האלגוריתמים וה-IP בחומרה סיליקונית תוך דגש מיוחד על נושא היעילות האנרגטית (TOPS ל-WATT) והגנות החומרה. תחומים נוספים שראוי להתרכז בהם הם פיתוח SOC, אפליקציות תוכנה ומערכות אוטונומיות שלמות ל-IOT ול-EDGE. לדעתנו אין הצדקה להשקיע בפיתוח תהליך יצור סיליקוני (PROCESS) או במפעל יצור (FAB).

קבוצת עבודה 3 –

QUANTUM INFORMATION SCIENCE

1. סיכום מנהלים

קבוצת העבודה בנושא יישומים קוונטיים פעלה במסגרת צוות "כח מחשוב" של מיזם "מערכות נבונות". הקבוצה עסקה בתת התחום של האינפורמציה הקוונטית (QIS – Quantum Information Science) במובנו הרחב, קרי, יצירת האינפורמציה הקוונטית, העברתה ועיבודה. הבנת פיסיקת הקוונטים אפשרה, בין היתר, את פיתוח תעשיית האלקטרוניקה, אשר שולטת במרקם החיים המודרני, כולל בתקשורת ובמדיה, במחשוב ובעיבוד נתונים, ובמערכות בקרה אשר מאפשרות את יכולות אלה, כמו גם את תשתיות הכלכלה, התחבורה ועוד. "המהפכה השנייה" של טכנולוגיות הקוונטים מבטיחה דור חדש של מוצרים עם תכונות חדשות, מלהיבות, ויוצאות דופן, ברמה של שינוי פרדיגמה של ממש, אשר צפויה לשנות את חיינו בצורה עמוקה. ליכולות אלה תהיה השלכה ישירה על עולמות הכלכלה, הפיננסים, הביטחון, התחבורה (כולל אוויר וחלל), האנרגיה התקשורת, ועוד והן עשויות לשפר יכולות כגון דימות ומחשוב ברמה כה בסיסית, עד שהשפעות אלה לא ניתנות עדיין לחיזוי אמין באופן מלא. לאור הפוטנציאל האדיר של התחום, מובילים טכנולוגיים בינלאומיים הגדירו תכניות לאומיות בתחום – מדינות כגון סין, קנדה, בריטניה וארה"ב, האיחוד האירופי, כמו גם מדינות קטנות יותר שלהן תכניות לאומיות בפועל אם לא בשם, תוך השקעות סכומים שנמדדים לעיתים במיליארדים, במעין מרוץ חימוש להשגת עליונות מדעית וטכנולוגית בתחום. בנוסף, בשנים האחרונות ישנן השקעות ענק גם של תאגידים וחברות מסחריות, וצמיחה של סקטור חברות ההזנק בתחום ברחבי העולם.

קבוצת העבודה סקרה את תת התחומים המרכיבים את התחום (חילול אינפורמציה, העברתה, ועיבודה באמצעים קוונטיים), וכן את הקישור ביניהן. במסגרת זו, פעלה קבוצת העבודה בחיבור הדוק עם ועדת הבדיקה המקצועית לבחינת הצורך והאפשרות להקמת תשתית למו"פ בתחום מדע וטכנולוגיות קוונטים, אשר מונתה על ידי פורום תל"מ. קבוצת העבודה התייעצה עם גורמים שונים, וכן נעזרה במסמכים בינלאומיים וישראלים – בדגש על הצעת ות"ת להקמת תשתית מו"פ קוונטים, הצעת רשות החדשנות (ומפא"ת), וסקר המחשוב הקוונטי של מפא"ת.

בסיום עבודתה, קבוצת העבודה תומכת באופן חד משמעי במסקנת ועדת תל"מ בנושא זה: קיים צורך קריטי בייזום תוכנית לאומית למחקר ופיתוח בתחום מדע וטכנולוגיות קוונטים. יתרה מכך, קיומה של תוכנית לאומית כזו הינו חיוני לחוסנה של מדינת ישראל ויתרום להעמקת המחקר האקדמי, להרחבת הבסיס התעשייתי, ליצירת הזדמנויות לכלליות משמעותיות, ולקידום דרמטי של היכולות הביטחוניות הישראליות. לחילופין, אם לא יבוצעו השקעות משמעותיות ברמת תכנית לאומית, שיביאו את ישראל לרמת המעצמות או המדינות המתקדמות ביותר, מדינת ישראל לא תוכל להמשיך ולהתקדם טכנולוגית, הן כמדינה למימוש צרכיה ויעדיה, הן למחויבותה לאיכות חיי אזרחיה והן לפיתוח משק ותעשייה מתקדמת.

במקביל לאימוץ המלצות ועדת תל"מ, ממליצה קבוצת העבודה גם על הרחבה מסויימת ומדודה של ההשקעות המומלצות ע"י ועדת תל"מ, במטרה למקד ולאפשר מימוש של יכולות ה-QIS בתחום המערכות הנבונות. בכרט, המלצות אלה מכוונות להבשלת יכולות החישה ושילובן ביישומים ושימושים; להכוונת התעשייה לשילוב יכולות קוונטיות בתוך מערכות קלאסיות; ולהכוונת האקדמיה למחקר מוכוון-צורך, במטרה לסייע לתעשייה להתפתח בהתאם להמלצות הוועדה וקבוצת העבודה. סך התקציב התוספתי הנדרש למימוש ההמלצות האלו מסתכם ב-145 מש"ח, לחמש שנים, תוך התבססות על תשתיות שיוקמו במסגרת מימוש המלצות ועדת תל"מ.

מסמך זה, ומסמך ועדת תל"מ, מתווים אסטרטגיה לתוכנית רחבה וכוללת, אשר מיועדת לממש את הפוטנציאל של התחום לחיזוק החוסן הלאומי, הביטחוני, האקדמי, והעסקי. מדינת ישראל נמצאת בפרשת דרכים בכל הנוגע למדע וטכנולוגיות קוונטים. עליה לבחור בין הישארות במתכונת המצומצמת הקיימת כיום, לבין קידום והובלה של תחומים פורצי דרך החיוניים להתפתחותה. לכן, אנו ממליצים על הצטרפות למאמץ עולמי הנמצא עדיין בראשיתו, שיבוא לידי ביטוי במגוון רחב של תחומים יישומים חיוניים, ושלמדינת ישראל יש את הפוטנציאל להצליח בו ואין את הפריווילגיה שלא לעשות כן.

2. פתיחה

2.1. מטרה

המסמך הינו ריכוז וסיכום עבודת מטה של קבוצת עבודה 3 (יישומים קוונטיים) שפעלה בצוות המשנה "כח מחשוב" של מיזם "מערכות נבונות בטוחות".

מטרת המסמך הינה להמליץ על כיווני הפעולה המרכזיים – הנחוצים והמועילים במיוחד למדינת ישראל – אשר ראוי בעינינו לקדםם במסגרת המיזם, באקדמיה, בתעשייה, במערכות הממשל ובמערכת הבטחון. זאת, על מנת לעמוד במטרת המיזם – הצבת מדינת ישראל בחמישייה המובילה בעולם בתחום זה.

2.2. הגדרת התחום

תחום המדע וטכנולוגיות הקוונטים כולל שימוש בתכונות ותופעות מהפיסיקה הקוונטית, למימוש רכיבים, מדידים, ומערכות בעלות ביצועים עילאיים או יכולות ייחודיות, ביחס לניתן להשגה בטכנולוגיות 'קלאסיות'. ההתפתחות המדעית והטכנולוגית של השנים האחרונות, אשר נשענות על שימוש בתכונות קוונטיות ברמה הבסיסית של מערכת קוונטית יחידה, קרויות לעיתים "המהפיכה הקוונטית השנייה". זאת, על מנת להבדיל אותן מה"מהפיכה הקוונטית הראשונה" של תחילת המאה העשרים, אשר התבססה על תכונות קוונטיות קולקטיביות, והביאה יכולות כגון מוליכים למחצה ולייזרים.

מדינות רבות, גופים בינלאומיים ובינמדינתיים, וגם תאגידים וחברות מסחריות, זיהו את הפוטנציאל העצום הטמון בתחום זה. מצב זה הוביל למרוץ להשגת "עליונות קוונטית", שנתמך בהשקעות ענק. הערכות רבות צופות יתרונות מהותיים לאוחזים במובילות בתחום מתפתח זה, ובמקביל חוזות מגבלות לגורמים ש"ישארו מאחור", כפי שיתואר להלן במסמך זה. יצוין כי לצד התוכניות הלאומיות הגלויות קיימים בעולם מספר מאמצים מקבילים ומסווגים לפיתוח יישומים שנוגעים לביטחון לאומי.

2.3. הפעילות הלאומית בארץ

עד לאחרונה, הפעילות בארץ היתה בעיקרה מבוזרת, עם פעילות שהתרחשה בעיקר באקדמיה ובתעשייה הביטחונית. התכנית הממשלתית היחידה שפועלת מזה למעלה מעשור מובלת על ידי מפא"ת, וממוקדת במו"פ ביטחוני. בשנים האחרונות חלה התעוררות בתחום, ועל אף שלא מוגדרת עדיין תכנית לאומית, יש יוזמות של גורמים ממשלתיים וממלכתיים נוספים לטיפול בתחום. בהקשר זה יצינו ות"ת, אשר הגדירה את תחום הקוונטום כאחד מעמודי הליבה של תכנית החומש של האקדמיה, והרשות לחדשנות, אשר אישרה מאגד חישה קוונטית (המאגד אושר עקרונית בסוף 2018 וצפוי להיות מאושר סופית ולהתחיל לפעול במחצית 2019).

בפרט יש לציין את פעולת וועדת הבדיקה המקצועית לבחינת הצורך והאפשרות להקמת תשתית למו"פ בתחום מדע וטכנולוגיות קוונטים שהוקמה ע"י פורום תל"מ. פעולת וועדה זו חופפת במידת-מה את פעולת קבוצת עבודה זו וצוות כח המחשוב בכלל, ועל כן, על מנת לסנכרן את עבודת ועדת תל"ם וצוות המשנה במיזם, הוסכם על שותפי תל"מ ועל מובילי המיזם כי ד"ר ארנה ברי תעמוד בראש שתי הפונקציות.

לאור שפע חומרי הרקע והמסמכים הישימים (דוח ועדת הבדיקה מטעם תל"מ, דוח ועדת התוכנית האקדמית מטעם ות"ת בראשותו של פרופ' אורי סיוון, מסמך צוות ההתייעצות של הרשות לחדשנות בשיתוף מפא"ת, ומסמך סיכום סקר מפא"ת בנושא חישוב קוונטי), מסמך זה לא מכוון להיות מסמך כללי לבחינת התחום. תחת זאת, יתמקד המסך רק בחלקים הרלוונטיים, אשר מבחינים את תחום עיסוקו משאר הפעילויות הלאומיות.

הרחבה נוספת ניתן למצוא בסעיף 5.4 למסמך זה.

2.4. תיחום העבודה

הגדרת הנושאים הכלולים תחת הכותרת של "מדע וטכנולוגיות קוונטיים" משתנים לפי ההקשר. מאחר וקבוצת עבודה זו הינה חלק ממיזם "מערכות נבונות בטוחות", תיחום הפעילות במסגרת זו יהיה תחת "אינפורמציה קוונטית" (נקרא לעיתים בלועזית QIS – Quantum Information Science) במובנה הרחב, קרי, יצירת האינפורמציה הקוונטית, העברתה ועיבודה (תת התחומים

^[1] המיזם הלאומי למערכות נבונות בטוחות - חלק ב' דוחות צוותי המשנה ורשימת משתתפי המיזם | 125

נקראים לעיתים חישה קוונטית, תקשורת קוונטית וחישוב / סימולציות קוונטי/ות, בהתאמה).

נושאים נוספים שנכללים בתחום זה בהקשרים אחרים (ואשר הוגדרו במסמך ות"ת) - חומרים קוונטיים ויסודות תורת הקוונטים וטכנולוגיות חדשניות - אינם נכללים תחת כותרת האינפורמציה הקוונטית, ולכן לא יבחנו במסגרת מסמך זה. ניתן למצוא הרחבה לגבי תת-תחומים אלה במסמך וועדת הבדיקה מטעם ות"ת, וכן בדוח ועדת הבדיקה של תל"מ.

2.5. הרכב קבוצת העבודה

ראו סעיף 5 - חברי צוות המשנה כח מחשוב וקוונטים, ברשימת משתתפי המיזם מעמ' 260.

3. רקע

בסעיף זה ינתן רקע לתחום האינפורמציה הקוונטית, תוך הרחבה לתת התחומים המרכיבים אותו. בנוסף, ידונו האימפקט הצפוי מההתפתחות הצפויה של התחום בשנים הקרובות, הן בהיבט החיובי (אילו תועלות יהיו למובילים העולמיים) והן בפן השלילי (אילו מגבלות / בעיות יוצרו למדינות שישארו מאחור).

3.1. אינפורמציה קוונטית – Quantum Information Science QIS

הבנת פיסיקת הקוונטים אפשרה, בין היתר, את פיתוח תעשיית האלקטרוניקה, אשר שולטת במרקם החיים המודרני, כולל בתקשורת ובמדיה, במחשוב ובעיבוד נתונים, ובמערכות בקרה אשר מאפשרות את יכולות אלה, כמו גם את תשתיות הכלכלה, התחבורה ועוד. הדור החדש של טכנולוגיות קוונטים אינו מסתפק עוד בניצול תופעות טבעיות בעלות אפקטים קוונטיים, אלא פועל להנדסה של אפקטים אלה, בצורה מבוקרת ומתוכננת יותר. הטכנולוגיות החדשות והמפציעות מבטיחות דור חדש של מוצרים עם תכונות חדשות, מלהיבות, ויוצאות דופן, ברמה של שינוי פרדיגמה של ממש, אשר אשר צפויה לשנות את חיינו בצורה עמוקה. ליכולות אלה תהיה השלכה ישירה על עולמות הכלכלה, הפיננסים, הביטחון, התחבורה (כולל אויר וחלל), האנרגיה התקשורת, ועוד והן עשויות לשפר יכולות כגון דימות ומחשוב ברמה כה בסיסית, עד שהשפעות אלה לא ניתנות עדיין לחיזוי אמין באופן מלא.

טכנולוגיות האינפורמציה הקוונטית פתחו פתח לדורות חדשים להתקנים ומערכות, אשר נחשבו עד לאחרונה לבלתי אפשריים, בכל חלקי מערכות האינפורמציה – החל מחילול אינפורמציה ברמות דיוק עיליות, דרך העברת האינפורמציה בצורה מאובטחת ואמינה לחלוטין, ועד ליכולות של עיבוד מידע, הן ממקור קוונטי והן ממקור קלאסי, בצורה קוונטית. היכולות החדשות יאפשרו, למשל, יכולות דימות רפואי בדיוק ורזולוצית-על, תקשורת שתאפשר העברה של נתונים בנקאיים ותוצאות בחירות ללא חשש מהתערבות עוינת, ויכולות חישוב שיאפשרו פיתרון בעיות שכיום אינן ניתנות לחישוב – ואף כאלה שניתן להראות שכלל אינן ניתנות לפתרון קלאסי גם במחשבים עתידיים רבי עוצמה, כגון פיתוח חומרים חדשים ותרופות חדשות. זאת, בנוסף לתרומה מכרעת שתהיה למחשוב כזה על פיתוח בינה מלאכותית על גווניה השונים.

לאינפורמציה הקוונטית והפיתוחים שהיא מאפשרת, צפויה השפעה מכרעת על כלל מרכיבי האקו-סיסטם הישראלי – האקדמיה, הכלכלה, והביטחון:

- **המחקר האקדמי** בתחום זה הוא בחזית הידע, בכלל נדבכי הפעילות. כמות הפרסומים המדעיים בירחונים המובילים היא עצומה. מספר פרסי נובל הוענקו לחוקרים שפיתחו יכולות (למשל, קירור אטומים); רק לאחרונה הוענק פרס וולף לצמד החוקרים Brassard -i Bennett, אשר פיתחו את הפרוטוקול הידוע ביותר להעברת מפתחות הצפנה בצורה קוונטית (BB84); ופרסים נוספים צפויים בעתיד. לא בכדי הגדירה ות"ת את תחום טכנולוגיות הקוונטים כאחד מעמודי התווך של תכנית החומש של האקדמיה הישראלית.

- **הכלכלה** – הן העולמית והן הישראלית – צפויות להיות מושפעות המידה ניכרת מפיתוחים בתחום זה. אין הכוונה רק לחברות שיעסקו בטכנולוגיות קוונטים (אם כי השוק העתידי לחברות כאלה, על פי תחזיות שונות, גם הוא צפוי להמדד במספרי עתק¹¹²), אלא גם לשווקים שיעשו שימוש בטכנולוגיות הקוונטים. כך, למשל, פיתוח טכנולוגיות הקוונטים עשוי לשנות את שוק תעשיית המוליכים למחצה – שוק עולמי של מאות מיליארדי דולרים, ואת שוק האנרגיה והגז – שוק של ביליונים (אלפי מיליארדים). גם

^[1] למשל, לפי נתוני חברת הייעוץ דלויט, צפויה צמיחה משמעותית בהכנסות המבוססות על טכנולוגיות קוונטיות עד ל-50 מיליארד דולר בעוד עשור בתחומי התקשוב לבדם

בחיי היום-יום תהיה השפעה ניכרת, למשל יכולות תקשורת מתקדמות, ושיפור וזירוז טכנולוגיות בניה. מחשוב קוונטי יחולל מהפיכה עצומה גם בפיתוח חומרים חדשים ובפיתוח תרופות, שכן הוא יאפשר סימולציות ברמה שלא ניתן לממש במחשבים קלאסיים, כמו גם בתחומים מגוונים כגון טכנולוגיות מידע, בנקאות ופיננסים, תחבורה חכמה ועוד.

- **בביטחון**, תחום טכנולוגיות הקוונטים בכלל, ותחום האינפורמציה הקוונטית בפרט, הוכרו כבעלי חשיבות אסטרטגית לביטחון כבר לפני זמן רב. יכולות כמו חישה רגישה, תקשורת מאובטחת, וחישוב פורץ דרך הינן בעלות חשיבות לעולם הביטחוני. גורמים ביטחוניים רבים בעולם כולו ציינו את התחום כתחום עיקרי בראייה עתידית, וגם מפא"ת במשרד הביטחון עוסקת בתחום מזה שנים רבים.

לאור הפוטנציאל האדיר של התחום, מובילים טכנולוגיים בינלאומיים הגדירו תכניות לאומיות בתחום – מדינות כגון סין, קנדה, בריטניה וארה"ב, האיחוד האירופי, כמו גם מדינות שלהן תכניות לאומיות בפועל אם לא בשם. דוגמה להלך הרוח בתחום זה ניתן למצוא לציטוט מדבריו של מארק אלטר, מנהל מדיניות המדע ב-APS: "But when it comes to things that have to do-with national security–like quantum computing–in those areas we can’t afford not to be number one". גורמים אלו, כמו גם חברות פרטיות גדולות וקטנות, משקיעים סכומים שנמדדים לעיתים במיליארדים, במעין מרוץ חימוש להשגת עליונות מדעית וטכנולוגית בתחום.

כפוטנציאל משותף לכלל תת-התחומים, נציין כי שותפות במיזמים אקדמיים ותעשייתיים בינלאומיים בתחום האינפורמציה הקוונטית, כגון ה-European quantum technologies flagship, או הקמת מרכזי פיתוח של חברות טכנולוגיה בינלאומיות, צפויות להיות רלוונטיות – אך זאת רק במידה וישראל תיתפס כתור מובילה עולמית בתחום הטכנולוגיות הקוונטיות. שותפות במיזמים בינלאומיים תאפשר הבאת תקציבים חיצוניים לישראל וכן צמיחה של שיתופי פעולה עם מובילים בתחומי טכנולוגיות קוונטיות, כמו גם הכשרת כח אדם מקומי מעבר לנלמד בתארים אקדמיים.

בד בבד חשוב לציין כי עצם הראיה האסטרטגית של התחום מגבילה את האפשרות העתידית לרכש / שימוש ביכולות, במדינות שלא ישכילו לפתח יכולות עצמיות בתחום. הניסיון מלמד שיכולות מעצמתיות (כפי שמסתמן לגבי טכנולוגיות הקוונטים) אינן משותפות עם מדינות "נגררות", כך שאי אחיזה בידע ברמה מספקת, עלול להשאיר את מדינת ישראל כמדינה ללא יכולות חיוניות בשנים הבאות.

אזרחיים ובטחוניים כאחד), חיפוש גז, עולם הבנקאות והפינטק, ועוד.

2. סיבוב ותאוצה – מערכות ניווט אינרציאליות.

3. כבידה – זיהוי חללים, מחצבים, סקרים גיאולוגיים.

4. שדות מגנטיים וחשמליים – זיהוי עצמים מתכתיים (ביטחון, מחצבים וכו'), מדידת שדות ממקורות ביולוגיים, סקרים גיאולוגיים, ניווט מגנטי.

5. מסה – שיקוע ונידוף חומרים.

6. מדידות מרחק

7. זיהוי חומרים

8. ועוד...

הבידוד של מערכות קוונטיות מהסביבה, גודלן המזערי הבסיסי, ותכונות ייחודיות של הפיסיקה הקוונטית (כגון הספין, קוונטיזציה), מאפשרים במקרים רבים דיוק גבוה בהרבה של מדידות קוונטיים ביחס למדידות קלאסיות, שיפור שעשוי להגיע למספר סדרי גודל (מדידות אינרציאליות, מדידת שדות מגנטיים). דוגמה להבדל בדיוק ניתן לראות לדוגמה בשעונים אטומיים: ה-state of-art הקוונטי עבור שעונים אופטיים מגיע ל-10 בחזקת 19, בעוד שעשוי הקוורץ המדויקים ביותר מגיעים לכ-10 בחזקת 8 או מעט טוב מזה. דוגמת השעון האטומי היא ייחודית ברמת השיפור שהיא מציגה; מרבית המערכות הקוונטיות משפרות דיוק בהשוואה למערכות קלאסיות "רק" בסדרי גודל בודדים (5-2 ס"ג).

שיפורים אלו בדיוק שיטות המדידה¹⁴, בכל הפרמטרים הפיסיקליים, אפשרו כבר פריצות דרך משמעותיות בתחומים השונים (מהפכה ברשתות תקשורת באמצעות שעונים אטומיים, מדידת שדות מגנטיים ממקורות ביולוגיים כגון פעילות המוח, קירור מערכות מכאניות מאקרוסקופיות קרוב מאד לאפס המוחלט וכו'). המשך שיפור המערכת הפיסיקלית-הנדסית של חיישנים אלו מבטיחה ליצור מהפכות נוספות בשיטות ניווט אינרציאליות (מדידה תאוצה וסיבוב), מחקרים גיאודזיים (מדידות כבידה ושדות מגנטיים), ובנושאים נוספים.

לבסוף נציין כי שימוש בתכונות קוונטיות מורכבות כגון קוהרנטיות ושזירה מאפשר שיפור נוסף של דיוק המדידות. דוגמה למימוש זה לאחרונה ניתן לראות בשיפור של רגישות LIGO (מדיד גלי הגרביטציה) בדור הבא של המערכת.

למיצוב של האקדמיה והתעשייה הישראלית כמובילה בתחום החישה הקוונטית יש חשיבות גבוהה מההיבטים הבאים:

1. היבטים מסחריים – כפי שצוין לעיל למדידות קוונטיים שוק מגוון. תחום צומח זה תופס נתח גדל והולך בשוק העולמי – לפי מסמך סיכום מאגד החישה קוונטית מ-2018, ניתוח נכון ל-2015, העריך כי קיימות השקעות עולמיות של כ-1.5 מיליארד יורו (מתוכו כ-350 מיליון בארה"ב וכ-550 מיליון באיחוד האירופי) בטכנולוגיות קוונטיות ומימון של כ-7000 חוקרים. כאשר החזון הכלכלי שהוצג ע"י המאגד, מציב רף מכירות של כ-400 מיליון דולר ע"י חברות ישראליות ב-2028. נציין מקצת חברות ישראליות ועולמיות שעוסקות בפיתוח ומכירה של מדידות קוונטיים:

א. מגנטומטרים קוונטיים (שוק מדידות מגנטיים עולמי מוערך בכ-4 מיליארד דולר בשנת 2022) – QuSpin, IAI, Twinleaf, Geometrics, GEMSys

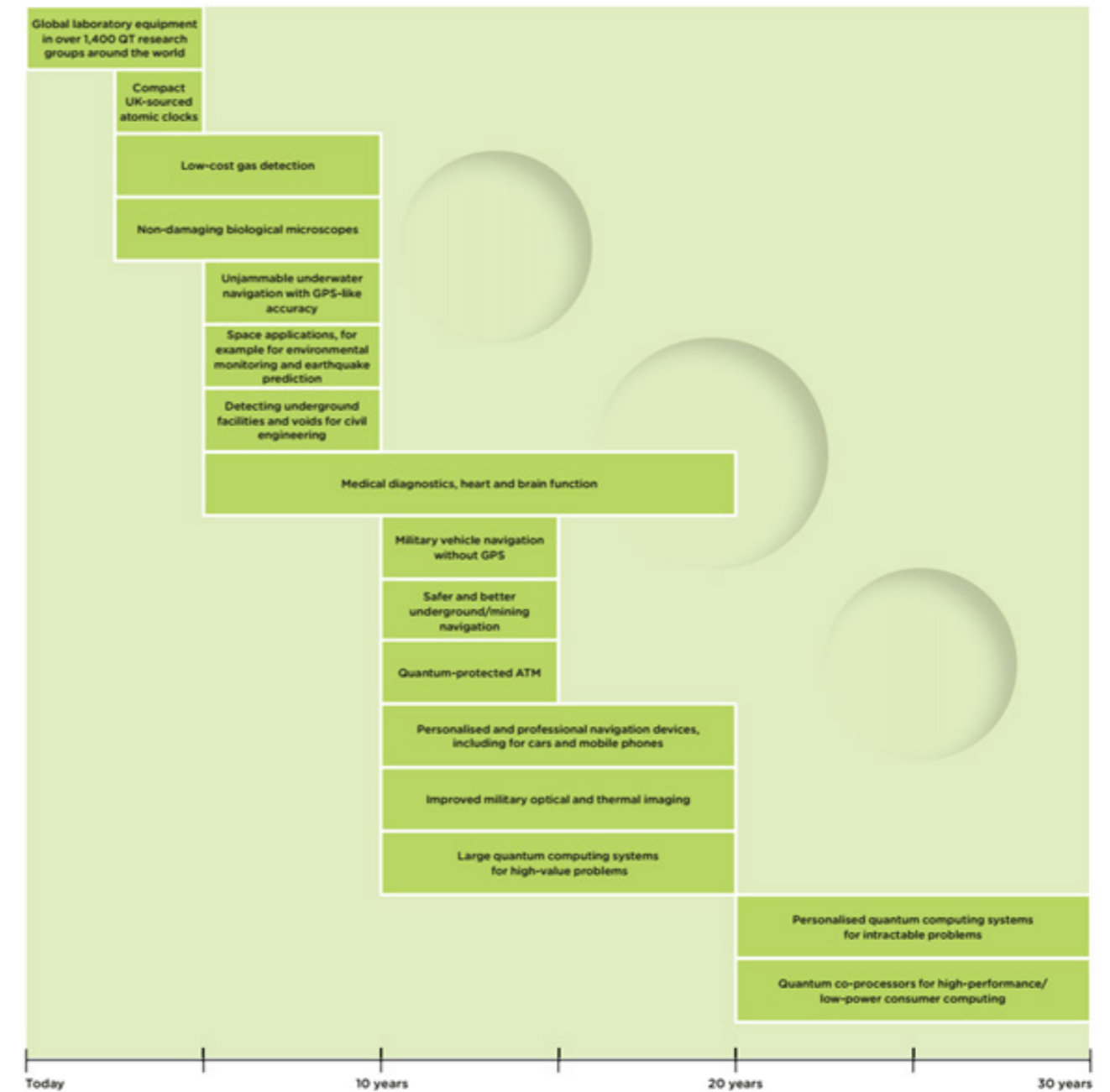
ב. שעונים אטומיים (שוק שעונים אטומיים עולמי מוערך בכ-500 מיליון דולר בשנת 2025) – Microsemi, AccuBeat, Oscilloquartz

ג. מדידי כבידה תאוצה וסיבוב – AOSense, MuQuans

ד. אבטחת שרשרת אספקה באמצעות חישה מגנטית – Dust Identity

ה. שיפור ביצועים בדימות רזוננס מגנטי NVision-imaging – (MRI)

כפי שצוין לעיל, שילוב של התעשייה והאקדמיה בישראל במחקר ופיתוח של חיישנים קוונטיים יכול להוות פוטנציאל מסחרי משמעותי של טכנולוגיות בחזית הידע העולמי, והשקעות של חברות בינלאומיות נציין שבאופן כמעט טריוואלי רבות מהפעילויות



איור 1: התפתחות פוטנציאל טכנולוגיות הקוונטים בעתיד, מתוך דו"ח בריט¹¹³

לסיכום סעיף זה חשוב לציין, שעל אף החיבור ההדוק בין תת התחומים המרכיבים את תחום ה-QIS, וההשפעה בין תת-תחום למשנהו, להערכת הצוות נדרשת התייחסות שונה לעתים בין תת-התחומים, ועל כן הסעיפים הבאים יתארו את הניתוח לפי תת-תחומים אלה.

3.2. חילול אינפורמציה (חישה) קוונטית

חישה קוונטית הוא תחום בו משתמשים במערכות קוונטיות על מנת למדוד גדלים פיסיקליים (קוונטיים או קלאסיים). תחום זה הוא הותיק מבין השלושה (חישה, תקשורת ומחשוב) וכבר היום מניב אפליקציות אקדמיות, מסחריות וביטחוניות רבות. אפליקציות אלו מתבססות על מדידה של גדלים פיסיקליים כגון:

1. זמן/תדר (שעונים אטומיים) – סנכרון מערכות תקשורת (קוויות וסולריות), סנכרון רשתות חשמל, זיהוי מיקום (לצרכים

113 National strategy for quantum technologies, site: <https://www.gov.uk/government/publications/national-strategy-for-quantum-technologies>

114 בהשוואה לשיטות המדידה הקלאסיות

בחברות המצוינות לעיל החלו מעבודות ראשוניות באקדמיה שהתהוו לכדי יישומים. לפיכך, קבוצות אקדמיות משמעותיות בתחום החישה הקוונטית צפויות להוות קרקע פורייה לצמיחה של יישומים שיפותחו בתעשייה ישראלית קיימת או בחברות הזנק עתידיות.

2. היבטים בטחוניים – חישה בדיוק גבוה היא בסיס לאפליקציות בטחוניות רבות (לדוגמה: ניווט, תקשורת מאובטחת, סנכרון מערכות, ועוד). כבר כיום, ישנו שימוש מבצעי מסוים במערכות קוונטיות במעהב"ט. בגלל הביצועים העילאיים, מדידים מעבר לדיוק סף מסוים נמכרים בעולם במגבלות מסוימות או מוגבלים לחלוטין. ליכולת של ישראל לפתח מדידים המגיעים ל-state of the art העולמי או קרוב אליו ישנה השפעה הן על ביצועי מערכות בטחוניות באופן ישיר או באופן עקיף על ידי הסרת מגבלות יבוא של מדידים אלו.

3. הפרייה הדדית של תחום המחשוב הקוונטי – קיימת חפיפה מסוימת בין תחום החישה קוונטית לתחום האינפורמציה הקוונטית ולמחשוב קוונטי באופן פרטי. מחד, כפי שניתן יישום ישיר של חישה קוונטית הוא מדידה מדויקת של מערכות קוונטיות והסביבה שלהן. מדידות אלו יכולות לשפר את איכות המערכות הקוונטיות הבסיסיות שמשמשות את המחשב הקוונטי. לפיכך, פיתוח חיישנים קוונטיים יכולים לסייע בהבנת המגבלות של המערכות הקוונטיות הבסיסיות שישמשו את המחשב העתידי. מאידך, יישום עקרונות ואלגוריתמי מדידה שמפותחים במסגרת פיתוח של תשתיות אינפורמציה ומחשוב קוונטי יאפשרו לחיישנים הקוונטים להתקרב או אף להגיע למגבלות הרגישות הקוונטיות שלהן, תוצאה שתשפר את הרגישות של חיישנים אלו.

3.3. תקשורת והצפנה קוונטיות

תקשורת קוונטית – כשמה - מסתמכת על תכונות ותופעות בפיסיקה הקוונטית למימוש תקשורת, כלומר, היא דרך להעברת מצב קוונטי בין שני אתרים מרוחקים זה מזה. יחד עם זאת, השם "תקשורת קוונטית" הוא מעט מטעה, כיוון שמגבלות הטכנולוגיה הנוכחיות מגבילות את קצב העברת האינפורמציה לקצבים נמוכים, כך שבפועל כיום לא מדובר בהעברת מידע, אלא בתקשורת של מפתחות הצפנה¹¹⁵ בלבד. ואמנם, היישום המוכר ביותר של התקשורת הקוונטית הוא לצורך מימוש של תקשורת מאובטחת, בעיקר באמצעות הפצת מפתחות הצפנה (למשל תוך שימוש באלגוריתמים דוגמת BB84). יחד עם זאת, ליכולת להעביר מידע בצורתו הקוונטית בין שני אתרים מרוחקים יש חשיבות גבוהה – למשל לצורך שזירה של חיישנים לקבלת חישה ברגישות גבוהה אף יותר, ולשם חיבור בין מעבדים קוונטיים.

אבטחת מידע היא נושא קריטי במערכות התקשורת של ימינו, הן אזרחיות, והן צבאית. קריפטוגרפיה מהווה את הבסיס לאבטחת מערכות פיננסיות, עסקיות, ממשלתיות-לאומיות ואף למערכות תקשורת פרטית. פרוטוקולי הצפנה המקובלים כיום משתמשים בבעיות שונות מתורת המספרים שקלות לחישוב באופן יחסי בכיוון אחד וקשות בכיוון השני (שיטות א-סימטריות). הדוגמה הבולטת לפרוטוקול כזה היא פרוטוקול RSA המבוסס על הקלות בה ניתן לחשב את מכפלת שני מספרים ראשוניים גדולים, אך הקושי החישובי-סיבוכי לשחזר את המספרים בהינתן מכפלתם. פרוטוקולים אחרים כוללים חישוב לוגריתם דיסקרטי (דיכי-הלמן) עקומות אליפטיות (ECC) וכן קודי סריג (Lattice codes).

רבות מצורות האבטחה של ימינו מתבססות על אלגוריתמים שפותחו בשנות ה-70 ע"י מדענים מובילים, עליהם נמנים מדענים ישראלים רבים וחשובים כפרופ' עדי שמיר - שפרסם בשנת 1977 את אלגוריתם RSA (ביחד עם פרופ' ריבסט ופרופ' אלדמן) שהיווה פריצת דרך ביכולת לשתף סוד בצורה מאובטחת. בשנות ה-80 וה-90 התבססה שכבה של מדענים ישראלים מובילים בעולם בתחום הקריפטוגרפיה, וכן נוסדו חברות מובילות שעוסקות באבטחת תקשורת, כשהגדולה ביניהן הייתה צ'קפיניט - מובילה עולמית בתחום, וקבוצת רד-בינת שיסדו האחים יהודה וזוהר זיסאפל. המדענים והמהנדסים הישראלים בתחומי הקריפטוגרפיה והתקשורת תרמו רבות לבניית ישראל ככוח עולמי למשיכת חברות רב לאומיות, ולפתיחת והגדלת מרכזי הפיתוח בישראל – חברות כדוגמת מיקרוסופט, אינטל, RSA, EMC, IBM ואחרות.

הפרוטוקולים הנפוצים, פרט לעומס החישובי שהם מטילים על השרתים השונים, חולקים בעיה עקרונית: בטיחותם נסמכת רק על הזמן הדרוש לשבירתם ולא על אי יכולת תאורטית להשיג זאת. התקדמות חישובית יכולה לקצר זמנים אלה באופן דרמטי¹¹⁶ למעלה מכך – בעוד האבטחה ברשתות תקשורת נחשבת כבעלת רמה נאותה היום, מהפכת המחשוב הקוונטי מסכנת את

^[1] לצורך העברת מידע מאובטחת נדרשים שני צדדים מתקשרים לחלוק סוד הידוע אך ורק להם – מפתח ההצפנה שישמש אותם להצפנת המסרים. אם צד שלישי
מסוגל להשיג מידע על המפתח, ואפילו מידע חלקי, תעמוד התקשורת בסכנה יסודית. לכן אבטחת המפתחות היא בעלת חשיבות עליונה

^[2] 116 לשם המחשת נקודה זו – הערכת הזמן לפריצת RSA-129 1977 ע"י רון ריבסט ("R" RSA) היתה למעלה מ1016 שנים. בפועל, הפריצה לקחה מספר חודשים ב-1994, וכחות מיום אחד ב2015.

הנחות הבסיס של רשתות אלו, והופכת את רובן לחשופות. ניתן להראות כי מחשבים קוונטיים "מלאים" מסוגלים לפתור את הבעיה ההפוכה שבבסיס מספר פרוטוקולי הצפנה אסימטריים (לדוגמה RSA, דיכי-הלמן ו-ECC) באופן יעיל ובזמנים קצרים. גם מחשבים חלשים יותר כנראה יאימו על דרכי ההצפנה האלה, אם ע"י שימוש סטטיסטי שיקצר את משך הפתרון של מחשב קלאסי, או ע"י פריטת הבעיה לבעיות קטנות יותר שרק חלקן יוזן למחשב קוונטי וחלקן האחר למחשב קלאסי. היה זה פרופ' פיטר שור בשנת 1993 שהציג לראשונה שימוש בחישוב קוונטי לצורך שבירת צפנים. עבודתו אמנם הראתה את הפוטנציאל הרב, אך דרשה מחשב קוונטי בעל עשרות מיליוני קיוביטים לבעיות אמיתיות ולכן הייתה תיאורטית בלבד. עם זאת, לאורך השנים פורסמו מחקרים נוספים (סטפן בורגר 2003, מרטין ולופז 2012, אנצואז ואחרים 2018) שהנמיכו את הדרישות לכוח המחשוב בצורה משמעותית, ובכך קרבו את האפשרות ליישם פיצוח צפנים ע"י מחשבים קוונטים, הצפויים להיות זמינים בשנים הבאות.

לכן, צפוי שעם ההתפתחות הצפויה במחשוב הקוונטי, בעתיד תבוא לידי ביטוי גם היכולת לחשוף תקשורות מאובטחות של ימינו. אולם, אף מעבר לכך, כבר היום מסוגלים האקרים להקליט ולשמור תקשורות מאובטחות ולהשתמש ביכולות של מחשוב קוונטי, לכשתהיינה זמינות, כדי לפצח אותן בעתיד. **מכאן, שנושא התקשורת המאובטחת החסינה למחשוב קוונטי הינה נושא חשוב ומהותי כבר היום ואין לדחות את טיפולו לעתיד.**

שני הפתרונות המוצעים לעידן הפוסט-קוונטי הם שימוש בתקשורת קוונטית, שמוכחת תיאורטית כעמידה בפני ציתות ברמה הפיסיקלית, ובפני התקפות גם של מחשב קלאסי וגם של מחשב קוונטי, ללא הגבלת משאבי הזיכרון, המהירות והזמן המוקצים לחישוב (בטיחות אולטימטיבית ולא חישובית, כפי שמתואר להלן), ושימוש בפרוטוקולים אסימטריים להם עדיין לא ידוע פתרון יעיל בעזרת מחשב קוונטי (לדוגמה קודי סריג, ובאופן כללי פרוטוקולים 'פוסט-קוונטיים'). הסיכונים הכרוכים בשילוב טכנולוגיה כזו הם רבים. פריצתם עדיין קשה חישובית, אך אינה בלתי אפשרית, ולכן סודיות המידע אינה מובטחת לשנים רבות בגלל ההתפתחות המתמדת של מחשבים קלאסיים. ישנה אי בהירות ביחס לתקורה שהפרוטוקולים החדשים דורשים, וחלקם אף מציגים דרישות הגדולות אף יותר מאלו שבשימוש כיום. בנוסף, אי קיום של אלגוריתם למחשב קוונטי אינו מבטיח כי זמן קצר לאחר פריסת הטכנולוגיה לא ימצא אלגוריתם כזה. מאחר ולקבוצת הפרוטוקולים האלה לא ניתן להוכיח כי לא קיים אלגוריתם למחשב קוונטי (בגלל הימצאותם של הפרוטוקולים האלה וכוחם הפוטנציאלי של המחשבים הקוונטיים בקבוצות חישוביות שונות), אין אפילו ביטחון שכאשר תימצא דרך לפרוץ אותם, היא תפורסם ברבים. מסרים שמורים שהוצפנו כך וישמרו ע"י מאזין, יפרצו מיד אם ימצא כזה פרוטוקול. בנוסף, למשתמשים אין שום יכולת לדעת על ניסיון ההאזנה או אפילו על שמירת נתוני התקשורת לשימוש עתידי.

כאמור, התקשורת הקוונטית מהווה את אחד הפיתרונות הריגורוזיים והמוכחים היחידים להעברת מידע בצורה שהיא חסינה לחלוטין מהאזנה לא ידועה¹¹⁷. כלומר, בהנתן ציוד אידיאלי, התקשורת תהיה חסינה לחלוטין, ללא תלות ביכולות התוקף. בפרט, צורת תקשורת זו היא חסינה גם כנגד התקפות של מחשב קוונטי עתידי, מאחר והיא לא מסתמכת על קושי חישובי, אלא על עקרונות יסוד פיסיקליים – ובפרט על עקרון היסוד של המדידה הקוונטית, הקובע שכל מדידה משפיעה על המצב הנמדד ("קריסת פונקציית הגל"), ולכן מאזין אפשרי ישאיר אחריו בהכרח עקבות שביכולת הצדדים לגלות. העתיד של רשתות תקשורת מאובטחות נמצא ביכולת לבנות מערכת תקשורת מבוססת פיזיקה קוונטית על מנת לאפשר שיתוף מידע בצורה מאובטחת.

חשוב לציין כאן כי התקשורת הקוונטית וההצפנה הפוסט-קוונטית אינן בהכרח גישות מתחרות בלבד. ניתן לשלב את הפרוטוקול הקוונטי QKD והפוסט קוונטי במערכת אחת, וכך להשיג בטיחות רבה יותר בתנאים של אי-וודאות. כך, למשל, ניתן לחלוק חלקים שונים של המפתח במקביל בפרוטוקול קוונטי ובפרוטוקול קלאסי פוסט-קוונטי, ולעשות שימוש בפועל בקומבינציה שלהם ששומרת על הבטיחות הכוללת גם אם אחד הערוצים נפרץ.

תחום התקשורת הקוונטית מפותח ב-30 השנים האחרונות בקצב גובר והולך בעולם – באקדמיה, במכוני מחקר ממשלתיים, ובתעשייה. הודגמו ופורסמו יכולות תקשורת קוונטית רבות, החל באבני בניין בסיסיות, וכלה בהדגמות ויישומים ארוכי זמן ורחוקי-טווח של מערכות תקשורת קוונטית, הן מבוססות סיבים והן בחלל החופשי. מערכות "כמעט קוונטיות" והדגמות ראשוניות קיימות כבר מספר שנים, כמו גם מערכות מסחריות, אך בשנים הספורות האחרונות חלה התעוררות בתחום, עם פריצות הדרך שהוצגו

^[1] 117 החסינות התיאורטית המוחלטת מתייחסת רק לכו האינפורמציה הקוונטי הנקי. נקודות תורפה שאינן חסינות תיאורטית (מכילות "ערוצי צד" לא קוונטיים) הן נקודות הייצור והקבלה של המידע, כמו גם תחנות התמסורת שבדרך, שכן בטכנולוגיית סיב אופטי למשל, האות הקוונטי ככל הנראה אינו יכול לעבור מרחק גדול ממאות בודדות של קילומטרים ללא תחנות תמסורת בדרך. יחד עם זאת, חשוב להזכיר כי תקיפות בערוצי צד עשויות להתרחש בכל מתאר אבטחתי, גם אם אינו קוונטי.

בסין¹¹⁸, ובראשן קו התקשורת הקוונטי בן ה-2000 ק"מ, עליו עוברת תעבורת המוסדות הפיננסיים הסיניים, ולוויין התקשורת הקוונטית, ששימש להעברת שיחת וידאו מוצפנת ע"י מפתחות שהועברו בתקשורת קוונטית בין סין לבין אוסטריה. יחד עם זאת, האתגר המרכזי בתחום היה ונתר קצב המידע. נכון להיום, קצב העברת המפתח הוא איטי מאד, ותלוי באופן חד במרחק בין הצדדים ובאיכות קו התקשורת, ולכן מגביל מאד את רמת האבטחה שניתן להשיג בפועל, במיוחד עבור תקשורת מהירה ועתירת מידע. מדינות מובילות בתחום, שיפתחו שיטות וכלים להעברה מהירה של מידע קוונטי, יוכלו לאבטח מידע באופן עמוק ולמנוע האזנה באופן יסודי.

במקביל, מפותחות שיטות שעשויות לאפשר הפצה נרחבת של היכולות. בפרט, יכולות סמי-קוונטיות, בהן רק צד אחד לשיחה הוא קוונטי והאחר קלאסי, עשויות לאפשר, למשל, תקשורת של צרכנים עם הבנקים בצורה זולה, בטוחה, וכפוטה.

כאמור, לא ניתן להפריז בחשיבותה של אבטחת מידע, בעידן התקשורת בו אנו נמצאים, וחשיבות זו אף צפויה לעלות עם הכניסה לעולמות מקושרים-תמידית, ושימוש במאגרי מידע (big data, כבסיס לאינטליגנציה מלאכותית). לכן, החשיבות הכלכלית הפוטנציאלית של התחום היא עצומה, גם אם התקשורת הקוונטית תתברר כמתאימה רק למגוון מצומצם של יישומים. יחד עם זאת, החשיבות המדינתית והממשלתית שיש לאבטחת המידע, גבוהה מהערך הכלכלי בלבד. תקשורת מאובטחת היא חיונית לשמירה על מידע מסווג, לשירותי הממשלה השונים, להגנה על תשתיות קריטיות, ובתחום הביטחוני.

הבנה בסיסית ואחיזה בידע היסוד הנדרש למימוש יכולות התקשורת הקוונטית הוא חיוני, שכן רק כך מתאפשרת ההבנה האמיתית של היכולות מחד ושל המגבלות מאידך. הבנה זו תאפשר לברור בצורה מושכלת את היישומים הנכונים של היכולות לצרכים השונים לשם ההגנה, וכן עשויה לאפשר לנתח את החולשות במערכות של יריבים.

הסתמכות על החוזקות של ישראל בתחומי התקשורת והקריפטוגרפיה, תוך שילוב מחקר ופיתוח בתחום המחשוב הקוונטי, ייצר ידע ומומחיות שיהוו בסיס ליכולות הנדרשות לשם בניית תשתיות לאומיות, כמו גם לבניית מוצרים ותעשייה בתחומים אלו. מעבר להתפתחות תחומי ההצפנה, תחום התקשורת הקוונטית יהווה יסוד לטכנולוגיות בסיס נגזרות, ביניהן חתימות קוונטיות ויכולת לייצר מספרים רנדומליים. חתימות קוונטיות הינן תחליף לחתימות דיגיטליות, אשר מהוות היום השיטה הדיגיטלית היחידה לוודא את אמיתותם של חוזים, תכתובות וטרנזקציות בנקאיות. עם התפתחות המחשוב הקוונטי, חתימות קוונטיות יהוו הסטנדרט החדש ויחליפו חתימות דיגיטליות.

ייצור מספרים רנדומליים הינו נושא חשוב עבור סימולציות נומריות. ללא יכולת לייצר מספרים רנדומליים אמיתיים לא ניתן לספק פתרונות ברמה נאותה והפתרונות הידועים כיום אינם נותנים תוצאות מספקות (כלומר ניתן ליצור מספרים פסאדו-רנדומליים או מספרים שמכילים איזושהי חוקיות). מכיוון שמצבים קוונטים הינם רנדומליים באופן אינהרנטי, היכולת לייצר מספרים רנדומליים באמצעים קוונטים הינה כיוון מבטיח וחשוב.

תחום התקשורת הקוונטית אינו מוגבל רק ליכולות בסיסיות של העברת אינפורמציה מאובטחת, וניתן לראות שמנעד השימושים העתידיים הינו רחב. עם התפתחות היכולות נראה את התקשורת הקוונטית משפיעה על תחומים רבים ונרחבים כגון: אחסנה מאובטחת וחישוב סודי בסביבות ענן, וידוא (authentication) של גישה עבור האינטרנט של הדברים (internet of things), רשתות מובייל וסיבים אופטיים, משחקי מחשב מרובי ביצועים (high-end computer gaming), מערכות חיזוי מורכבות לפיננסים ואקלים/מזג אויר, ובינה מלאכותית.

חיבור נוסף שחשוב להזכיר הוא למחשוב הקוונטי. פרט לתקשורת קוונטית אל המחשב הקוונטי וממנו, כפי שצוין לעיל, הגישה ההיברידית לבניית מחשב קוונטי עשויה לדרוש את היכולות להעביר קיוביטים בין חלקי המחשב. העברה זו יכולה להעשות רק בדרך של תקשורת קוונטית. כך שהתקשורת הקוונטית עשויה להוות מרכיב הכרחי במחשב קוונטי עתידי.

3.4. חישוב קוונטי

חישוב קוונטי הינו גישה חישובית מוכחת כחזקה יותר¹¹⁹, במובן של מדעי המחשב, מאשר חישוב קלאסי. החישוב הקוונטי התיאורטי מתבסס על עקרונות היסוד של המכניקה הקוונטית, ובפרט סופרפוזיציה (מקבילות קוונטית), שזירות (קורלציות קוונטיות), והתאבכות (המימד הגלי של החומר). בהנתן תכונות אלה, ותוך שימוש בפורמליזם המתמטי שמתאר את תורת הקוונטים, ניתן לחלץ לוגיקה חדשה, שהיא, כאמור, חזקה מהלוגיקה הבוליאנית שבבסיס החישוב הקלסי.

שתי דוגמאות ידועות לעוצמה החישובית המוכחת הן האלגוריתם של שור ואלגוריתמים לכימיה קוונטית. האלגוריתם של שור מאפשר לפרק מספר מורכב לגורמיו הראשוניים במספר פולינומי של פעולות קוונטיות. שימוש בתכונה זו יאפשר לפצח את מנגנון ההצפנה הרווח ביותר בעולם, ה-RSA. האלגוריתם של שור דורש, למיטב הבנתנו, מחשב קוונטי מדויק כדי לעבוד נכון (כלומר, דורש רמות רעש נמוכות ביותר ו/או יכולת תיקון שגיאות קוונטי - דבר שגוזר דרישה על כמות קיוביטים גדולה בהרבה מכמות הקיוביטים הלוגיים). הדוגמא השנייה מאפשרת לחשב פרמטרים בסיסיים של מולקולות. פרמטרים אלה יכולים להיות רמות האנרגיה במולקולה, מרחקי הקשר בין אטומים, ועוד. חשיבות חישוב זה היא ביכולת לסמלץ תהליכים ותוצרים כימיים על ידי מחשב לעומת ביצוע הניסויים בפועל במעבדה. מובן שליכולת כזו, שלא קיימת על מחשב קלאסי, יהיו השלכות מרחיקות לכת על עולם הביולוגיה, הרפואה, הפרמקולוגיה, מדע החומרים, ועוד. מכיוון שהתוצאה הסופית במקרה זה אינה נדרשת להיות מדויקת, אלא רק טובה מספיק, חישוב זה יכול להיעשות גם על ידי חישוב קוונטי מקורב, כלומר גם על מחשב קוונטי רועש.

הרעיונות הראשונים בחישוב קוונטי הועלו בתחילת שנות השמונים של המאה העשרים, אך רק לאחר עשור צברו תאוצה עם גילויו של שור לאלגוריתם שקרוי על שמו. ועדיין, תחום זה היה תיאורטי בלבד ושילב בתוכו רעיונות מתיאוריה של מדעי המחשב יחד עם מחקר פיזיקאלי במערכות קוונטיות בודדות. בפרט, לאורך שנים התחום היה נחשב כנדבך בתוך הפיזיקה התיאורטית שנועד להוות כלי מבחן לתורת הקוונטים, ובפרט להבנת המעבר ממערכת קוונטית שמתוארת על ידי קיוביט יחיד או שניים, למערכת מרובת קיוביטים שמתנהגת באופן קלאסי לחלוטין. נדבך מרכזי במהפכה הקוונטית השנייה הוא היכולת הניסוינית של השנים האחרונות לייצר מערכות קוונטיות על פני מספר מרובה של קיוביטים. מעבר זה מאופיין בטטח כמעבר של התחום ממדעי טהור לתחום עם אלמנטים הנדסיים מובהקים.

ישנן פלטפורמות מימושיות רבות למחשבים קוונטיים. אלה כוללות צמתי ג'וזפסון בלולאות על מוליכות, יונים לכודים, אטומים ניטרליים, נקודות קוונטיות בסיליקון, מרכזי צבע ביהלום, ועוד. ההבדלים בין המימושים גדולים ביותר. לדוגמא, זמן החיים של קיוביט הממומש כלולאה על מוליכה הוא מילישניה, בעוד שאותו זמן ביון לכוד יכול להגיע לדקות ויותר. דוגמא נוספת היא שטמפרטורת ההפעלה של קיוביט על מוליך קטנה מ-20 מיליקלוין, בעוד שקיוביט הממומש על ידי אילוח ביהלום יעבוד גם בטמפרטורת החדר.

חברות רבות משקיעות משאבים רבים בפיתוח מחשב קוונטי שיהיה מספיק עוצמתי כדי לתת ערך על ידי פתרון בעיות שגם מחשבי העל הקלסיים החזקים ביותר לא יכולים לפתור. החברות המרכזיות העוסקות בכך הן יבמ, גוגל, אינטל, מיקרוסופט, אליבאבא, וריגטי¹²⁰. כמעט ללא יוצא מהכלל החברות בחרו את כיוון הלולאות העל מוליכות כאמצעי המימוש שלהן. יוצאות מהכלל הן אינטל שבחרה בשני מסלולים מקבילים, לולאות על מוליכות כמו גם נקודות בסיליקון, ומיקרוסופט, שבחרה בכוון של חלקיקי מיוראנה בעל מוליכים. גם גוגל משקיעה בכמה כיוונים טכנולוגיים במקביל, אך עדיין המאמץ העיקרי שלה הינו בעל-מוליכים. פלטפורמות אחרות כגון יונים לכודים ואילוחים ביהלומים נחקרות בעיקר באוניברסיטאות ובחברות קטנות או אף חברות הזנק בראשית דרכן. למרות הביטחון הרב של התעשיות הגדולות בלולאות על מוליכות, בהנתן מרחב התכן הענק בין הפלטפורמות השונות, והעובדה שהתחום בחיתוליו, ייתכן שבעתיד פלטפורמה מימושית אחרת היא זו שתוכיח את עצמה כטובה ביותר. אחת מנקודות ההשוואה החשובות בין הטכנולוגיות השונות היא "איכות" הקיוביטים, ובפרט היכולת שלהם לשמור על רמת קוהרנטיות מספקת בנוכחות רעש, החיבוריות ביניהם, ועוד. לא לכל הטכנולוגיות יש איכות דומה, ולמעשה, לטכנולוגיות שונות יש יתרונות שונים כאשר מתבוננים עליהם בחתכי כמות הקיוביטים הממומשים ובאיכותם.

^[1] 119 כל אמירה תיאורטית במסמך זה מניחה הנחות יסוד על עוצמת חישוב קלסי, בפרט ש P שונה מ NP, ושלא ניתן למצוא אלגוריתם פולינומי קלסי לפירוק ראשוני של מספרים. במידה ויוכח אחרת, האמירות התיאורטיות לגבי יתרון החישוב הקוונטי יצטרכו לעבור עידון, אך בד בבד, כל עולם הטכנולוגיה החישובית וההצפנה ייאלץ לעבור מהפכה מהיסוד במקרה זה, ללא שום קשר לקיום מחשוב קוונטי או אי קיומו

^[2] 120 במסמך זה, חישוב קוונטי משמעו חישוב קוונטי אוניברסאלי, אלא אם כתוב במפורש אחרת. שיטות חישוב אחרות, שלדברי כל המומחים יעלמו עם הופעת המחשב האוניברסאלי, מתוארות במסמך זה בצמצום. החברה המובילה בתחום זה של חישוב לא אוניברסאלי היא די-ווייב.

^[1] 118 ההצלחה הסינית מדגימה היטב את היתרונות האפשריים של דחיפה ממשלתית-רשמית בגישת ה-top-down

^[2] 132 | המיזם הלאומי למערכות נבונות בטוחות - חלק ב' דוחות צוותי המשנה ורשימת משתתפי המיזם

בשלב זה של הטכנולוגיה, לא קיימות עדיין הערכות מהימנות לגבי הזמן הנחוץ עד למימוש של מחשב קוונטי "מלא" (אוניברסלי ובעל יכולת תיקון שגיאות עצמי). כתלות בהתקדמות הטכנולוגית, יעד זה יכול להיות מושג תוך מספר עשורים, וגם לפי ההערכות האופטימיות ביותר, לא פחות מכ-15 שנים. יחד עם זאת, כמו תמיד במצבים דיסרפטיביים, יכולת החיזוי לגבי קצב הטכנולוגיה כמעט לא קיימת, וכמו במקרים רבים אחרים הקצב יכול להיות מהיר בסדרי גודל מהמצופה. בנוסף, כבר כיום ידועות אפליקציות מכל תחומי הידע שיוכלו להתבסס על מחשב קוונטי מקורב. מחשוב מסוג זה (NISQ – Noisy intermediate-scale quantum computers), יכול להיות ממומש על ידי מעבדים קוונטיים עם מספר קיוביטים קטן יחסית (מסדר גודל של כמה מאות או אלפים בודדים), עם קיוביטים רועשים, וללא צורך בתיקון שגיאות. הצפי להופעת מחשבים כאלה הוא של מספר שנים עד עשור. מימוש צפוי של מחשב NISQ כזה הוא בתצורה היברידית: מחשב קוונטי (אחד או יותר) שישמש כ"מאיץ קוונטי" בתוך מערכת מחשב קלאסית, עם מעבד קלאסי שיחלק את משימות העיבוד ויבצע אינטגרציה של התוצאות בשלבים מסוימים.

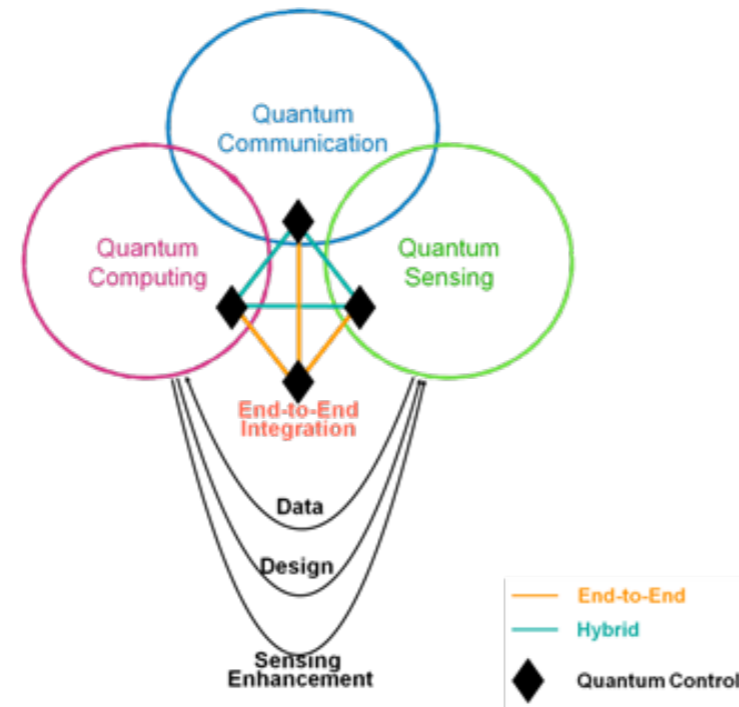
בשלב הביניים, עד למימוש המחשב המלא, וגם במקביל ל-NISQ, יש לשער שיהיה מקום למחשבים קוונטיים לא אוניברסליים. מחשבים מסוג זה מיועדים לפתרון של סט בעיות מוגדר (בדרך כלל קטן יחסית). עבור סט בעיות זה, ניתן לעיתים למצוא פתרונות שעדיין לא ניתנים למימוש במחשבים קוונטיים אוניברסליים. דוגמאות לבעיות כאלה יכולות להיות פתרון של סט משוואות לינאריות גדול מאד. לדוגמה, חברת D-Wave הקנדית משווקת כבר מזה זמן רב מחשבים "חלקיים" עם אלפי קיוביטים, אשר נרכש כבר ע"י חברות גוגל, נאס"א ולוקהיד מרטין, אך הוא מוגבל כאמור רק לפתרון סוג מסוים של בעיות, והדעות לגבי היכולות הקוונטיות שלו חלוקות.

הערכות שונות לגבי השוק הכלכלי העתידי של מחשבים קוונטיים נוקבות בד"כ בסכומים של עשרות מיליארדי דולר לשנה בעוד כעשור. ההשפעות הכלכליות העקיפות של מחשב קוונטי ישים צפויות להיות עצומות, בתחומים מגוונים כגון השוק הפיננסי עצמו (ניתוח בתנאי אי ודאות), חומרים (סימולציות ופיתוח חומרים בעלי יכולות חדשות), רפואה ופרמקולוגיה (פיתוח תרופות חדשות בקצב מואץ), וביטחון. **חיבור שנראה כעת כמעט ודאי הוא של שימוש ביכולות עיבוד קוונטי לטובת חישובי אינטליגנציה מלאכותית.** כאמור, ההשפעות הדיסרפטיביות על תחומים אלה יחלו כבר בזמן הופעת הופעת מחשבי ה-NISQ המקורבים.

במקביל, חשוב לציין כי יכולות עיבוד קוונטי, לכשיהיו, צפויות להיות אחד המגדירים של יכולת מעצמתית. האוחזים ביכולות אלה, יהנו מפירות החישוב – שכאמור צפוי לעלות על היכולות של חישובים קלאסיים במידה ניכרת, ואף לבצע דברים שפשוט מחוץ לתחום היכולות של מחשב קלאסי, גדול וחזק ככל שיהיה. המצב המסתמן כיום הוא של מספר קטן יחסית של מחשבים קוונטיים פיסיים¹²¹, ושירותי מחשב "בענן" שיהיו זמינים, אך היכולות העצומות של מחשבים עתידיים אלה מחייבות מדינות מובילות להיות מסוגלות לאחוז בידע הנחוץ למימוש עצמי של מחשב כזה במידת הצורך.

3.5. הקשר בין תתי התחומים

כאמור, תחום האינפורמציה הקוונטית מורכב משלושה תת-תחומים: חילול, הובלה, ועיבוד. תת התחומים הם אמנם נפרדים, אך מהווים חלק משלם, ובפרט יש ביניהם קשרים מדעיים וטכנולוגיים הדוקים. כך, למשל, השזירה הקוונטית (quantum entanglement) היא תופעה שהשליטה בה היא חשובה או אף חיונית לכלל התחומים – סכמות חישה קוונטית (quantum enhanced measurements) המשלבות שזירה ברמת החישה או במערכות מרובות חיישנים יכולות להביא לביצועים העילאיים ביותר, העצמת הפרטיות והגדלת מרחקים אפשריים ב-QKD דורשת שזירה קוונטית, ואחד העקרונות המחייבים של מחשב קוונטי הוא שזירה. אך מעבר לכך, תת התחומים משלימים זה את זה, הן בין כל שני תת-תחומים, והן באינטגרציה מלאה מקצה לקצה של שלושת התחומים.



איור 2: הקשר בין תת תחומי האינפורמציה הקוונטית¹²²

החיבור ה"זוגי" בין החישה לבין התקשורת מתקיים בעולמות החישה הקוונטית המבוזרת. כאשר מספר חיישנים מפוזרים במרחב גיאוגרפי נתון, ניתן להפיק מהם ביצועים מועצמים ע"י שזירה בינם לבין עצמם – דבר שדורש להפיץ את המידע הקוונטי שיוצר כל חיישן לחיישנים האחרים בצורתו הקוונטית – כלומר, תקשורת קוונטית. עולם החישה מתחבר ישירות לעולם המחשוב ברמת הטכנולוגיה שעומדת ביסוד שני התחומים; כך למשל יונים לכודים יכולים לשמש הן לחישה והן למחשוב, ועל מוליכים יכולים לשמש למחשוב וכחיישני פוטונים. בנוסף לכך, מחשבים קוונטיים יוכלו לסייע בתכן של חיישנים יעילים ורגישים אפילו יותר. ולבסוף, עולמות המחשוב והתקשורת מתחברים בצורה טבעית, שכן תקשורת קוונטית במהותה מעבירה קיוביטים ממקום למקום, כך שאם רוצים לבצר מחשבים, הם יהיו מחוברים בתקשורת קוונטית.

ברמה הגבוהה ביותר, שלושת התחומים גם יחד מתחברים לרשת קוונטית אחת (הקרויה לעיתים "אינטרנט קוונטי"), בה כלל המידע הוא קוונטי, מרגע שנוצר (ע"י חיישן), לאורך חיי (מעבר ברשת תקשורת בין אתרים שונים), ועד להגעתו ליעדו ועיבודו במחשב קוונטי. בצורה זו החישה, התקשורת והמחשוב מתחברים בצורה חלקה וטבעית ("seamless integration") זה לזה, מקצה לקצה. יתירה מכך, מערכות הבקרה הינן משותפות במתאר זה, הן ברמה הטכנולוגית, והן ברמה המערכתית.

4. ה-State of the Art

4.1. חילול אינפורמציה קוונטית

בחלק זה נתמקד כדוגמה ב-3 יישומים עיקריים בלבד: זמן ותדר, חישה מגנטית, ומדידים אינרציאליים. יישומי חישה נוספים (כגון מיקרוסקופיה מתקדמת והדמאה קוונטית) לא מפורטים כאן, שכן ככלל הם בשלים פחות בהשוואה ל-3 היישומים המרכזיים, וכן הפוטנציאל הכלכלי שלהן ככל הנראה נמוך יותר. יחד עם זאת, חשוב להמשיך ולהכיר את ההתפתחויות גם בתחומים אלה.

4.1.1. זמן ותדר

תחום השעונים האטומיים זמן מדויק מכיל כיום מספר כיוונים מרכזיים:

121 חשוב, כמובן, לנקוט במידה של זהירות בהערכות מוקדמות מסוג זה. גם אם הציטוט המיוחס לנימס ווטסון IBM ("יש בעולם צורך ב-5 מחשבים בלבד) אכן אינו נכון, אין ספק כי ההערכות בימי המחשוב הדיגיטלי המוקדמות לא חזו – ולא יכלו לחזות – את התפוצה העצומה של מחשבים דיגיטליים בתוך עשורים אחדים. פריצות דרך טכנולוגיות, ונידול של השימושים האפשריים, עשו להוביל לתפוצה רחבה הרבה יותר של מחשבים קוונטיים.

שעונים אטומיים זעירים, דלי הספק, וזולים

לאחר מספר תכניות בהובלת DARPA בארה"ב, נכנס לפני מספר שנים לשוק ה- Chip Scale Atomic Clock (CSAC), שהינו שעון קטן (ליבה פיסיקלית של מס' ממ"ק), דל הספק (ברמה של 100-200 מיליוואט), זול (מס' אלפי דולרים בודדים, תלוי בכמויות הנרכשות), ובעל רמות דיוק סבירות של תחום ה-10¹⁰ עד 10¹¹ (שגיאת תדר יחסית f/df) בד"כ. החברה המובילה והשולטת בשוק הינה חברת Microsemi (לשעבר Symmetricom). יש לציין כי לאחר החדרת המוצר לשוק הוא נמכר ברמה של אלפי יחידות לרבעון, אך נתגלו בו גם "מחלות ילדות" טכנולוגיות שגרמו לשנמוך מפרט היכולות שלו לזמן מה, דבר שעדיין מטופל ע"י החברה.

יש לציין עוד כי באירופה היו 2 פרויקטים לפיתוח שעונים דומים ל-CSAC, שאחד מהם הופסק לפני גמר פיתוח, והשני הממוקם בשוויץ נמצא ככל הנראה לקראת סיום פיתוח. בנוסף, נפרט בהמשך את הפעילויות בנושא זה כמו גם בשאר היישומים בפרק הבא במסמך.

הכיוון העתידי בתחום השעונים הזעירים כולל בתוכו המשך שיפור הביצועים של השעונים הללו תוך שמירת צריכת ההספק הנמוכה והגודל (למשל ע"י שימוש בסכמות מדידה מורכבות יותר, או תאי אדים מרובי החזרות), וכן המשך המזעור שלהם, למשל ע"י מעבר מאלקטרוניקה על מעגלים רגילים, ל-ASIC.

תחום השעונים הזעירים כמעט ואינו קיים באקדמיה כיום, והוא באופן מכריע מבוצע בתעשייה.

שעונים אטומיים בדיוק גבוה

החיסרון המרכזי של השעונים הקטנים דלי ההספק הינו ברמות הדיוק והסחיפה שלהם, במיוחד בזמנים ארוכים יחסית, שמצריכים סנכרון מחדש באופן עקבי. בד"כ סנכרון זה מבוצע למול שעון מדויק יותר על רשת קווית כלשהי, או באופן המצוי יותר, ע"י סנכרון לרשת ה-GNSS. תלות ברשת ה-GNSS הינה מגבלה ברורה, עם הקלות של חסימה, שיבוש ואף הונאה של האות המגיע מה-GNSS.

בתחום השעונים המדויקים יותר, ישנם שעונים ותיקים מאד כגון ה- Cs Beam Clock או ה-Hydrogen Maser, שדיוקיהם נעים בתחום 10¹⁴ עד 10¹⁵ בד"כ, והינם מוצרים מסחריים כבר שנים רבות, אך בד"כ לא כאלו שמתאימים לעבודה בתנאי סביבה קשים. כיום ישנם מספר פיתוחים (למשל בחברת MuQuans הצרפתית) של שעונים המבוססים על אטומים קרים בסכמות שונות, שיתחרו בשנים הקרובות בטכנולוגיות הוותיקות (אחד החסרונות העיקריים של שעוני ה- Cs Beam הוא הצורך להחליף את הליבה הפיסיקלית מידי מספר שנים).

בנוסף, ברמה האקדמית, ישנם שעונים אופטיים המגיעים גם לרמות של 10¹⁸ ואף מתחת לכך, רמות דיוק פנומנליות שרלבנטיות לתחום המחקר העתידי. שימוש ברמות דיוק כאלו בתעשייה עדיין לא קיים, ויש עוד להמתין להבשלת הטכנולוגיה הזו (שהיא כאמור אקדמית-מדעית כרגע), כדי לראות את מידת השילוב שלה ביישומים פרקטיים בתעשייה.

הפצת זמן

על פי דוח של ה-HLS האמריקאי, 15 מתוך 18 תשתיות קריטיות של ארה"ב¹²³ תלויות בצורה זאת או אחרת בקליטת זמן מ-GNSS. גם בארץ, כמו כמעט בכל המדינות בעולם, את הזמן עבור התשתיות הללו קולטים ממקלטי GNSS. ברור שבעקבות חסרונות ה-GNSS ישנה רגישות לקיום ותפקוד סדיר של התשתיות הקריטיות בכל התחומים שהוזכרו לעיל, ובעיקר חשמל ואנרגיה, תקשורת, בנקאות, תחבורה. מאידך, לא ריאלי לצפות לקיומו של שעון מדויק ביותר בכל מתקן ובכל צומת קריטי. מכאן עולה הצורך לייצר מערכת הפצת זמן לתשתיות הקריטיות, שאינה מבוססת על GNSS. מערכת הפצה כזו מורכבת ממספר מצומצם של שעונים מדוייקים ביותר, מערכת לחיבור בין השעונים המדויקים ולהפצת אותות סינכרון ביניהם, וממספר גדול יותר של שעונים מדויקים פחות, אשר מסתנכרנים לרשת המדויקת.

פרט לשעונים אטומיים מדוייקים ביותר כפי שצויין בסעיף הקום, קיימות בעולם מעבדות זמן ותדר במדינות רבות^{124,125}. בנוסף, ממומשת מזה זמן מערכת ליצירת זמן UTC ע"י השוואת זמן בין מעבדות לאומיות בכל העולם. השיטה מתבססת על הפצת זמן באמצעות לוויין. השיטה המדויקת ביותר להפצת זמן - בדיוקים של sub Nano Second - נקראת White Rabbit. שיטה זו פותחה במאיץ החלקיקים ב-CERN, ומתבססת על הפצה בסיבים אופטיים. היא מפורסמת כ-Open Source וניתן להמשיך לפתח אותה כל אחד בתחומו.

פעילות משמעותית נוספת בתחום היא בנושא פרוטוקולים לאבטחת מידע והתאמות נדרשות בפרוטוקולי ההפצה המקובלים של NTP/PTP כדי לעדכן אותם בקצבים ולהתאימם לעולם האזרחי. יש גם מרכיב של שידורי זמן ו/תדר אלחוטיים שטרם פותחו בעולם. ההנחה היא שלא כל משתמש יכול להתחבר לסיב אופטי ולכן המערכת בסופו של דבר תכלול גם הפצה אלחוטית.

4.1.2 חישה מגנטית קוונטית

את תחום החישה המגנטית ניתן לחלק במספר אופנים (למשל - מדידות בשדה חיצוני נמוך - כלומר בתוך סיכוך מגנטי, לעומת מדידות בשדה חיצוני גבוה - כלומר בשדה כדור הארץ ; או לפי תחומי תדר - קרוב ל-DC או תדרים גבוהים יותר, וכו').

מרבית העיסוק בחיישנים מגנטיים קוונטיים הינו בתחום תדר נמוך (בין תדרים קרובים ל-DC ועד עשרות בודדות של Hz). בתחום התדר גבוה (עד 1MHz) ישנה מעט עבודה (שמפורסמת) על מגנטומטריה קוונטית, והיא בעיקרה אקדמית. בתחום התדר הגבוה ישנה טכנולוגיה מתחרה (search coil) שיכולה להיחשב כטובה יותר.

בתחום התדר הנמוך, למדידות בשדות גבוהים, ישנו מספר קטן של חברות תעשייתיות שמוכרות מגנטומטרים קוונטיים, ברמת רגישות אופייניות של 1-20 pT/√Hz, כאשר התחום הרגיש יותר הינו תחת מגבלות ייצוא חריפות מארה"ב, שם פועלת החברה המבוססת יותר בשוק - Geometrics. חברה זו פעילה בעיקר ליישומי מחקר וגיאופיסיקה (מיפוי תת ימי או אווירי, וזיהוי מכשולים). ניתן למנות חברות קטנות נוספות בתחום רגישות זה - Twinleaf, QuSpin.

ברמה האקדמית, ההדגמה המרשימה ביותר למדידות מגנטומטריה קוונטית הוצגו ע"י קבוצת המחקר של רומאליס בפרינסטון, שהדגים רמת רעש של כ- 0.5 fT/√Hz בשדה כדוה"א, במדידה מעבדתית. יישומים עתידיים לרמות רגישות מעולות כאלו כוללים למשל מיפוי שדות מגנטיים ביולוגיים / רפואיים (למשל מהמוח או מהלב), וכמובן מחקר בסיסי.

יש לציין כי מעבר למדידות מגנטיות באמצעות אטומים חמים, פלטפורמה מעניינת נוספת היא מרכזי צבע (ביהלום או בחומרים אחרים), שם ניתן לממש מגנטומטר קוונטי במערכת מצב מוצק (כלומר יותר ייצורית ונשלטת, ללא צורך בקירור), ברזולוציה מרחבית ננומטרית. בתחום זה, מגנטומטרים ברזולוציה מילימטרית ובשדה כדור הארץ הדגימו רגישות של 1pT/√Hz. מגנטומטרים המגיעים לרזולוציה מרחבית ננומטרית, לעומתם, הדגימו יישומים רבים בתחומים ביולוגיים במיפוי תאים חיים, גבולות דומיינים מגנטים, והדגמות נוספות. נציין שמדידות ברזולוציה מרחבית זו הינן רלבנטיות בעיקר ליישומים ביולוגיים, רפואיים, ומחקר חומרים.

בנוסף, יש לציין טכנולוגיה קוונטית ותיקה מאד - SQUID, בה עושים מדידות שינוי שטף מגנטי דרך לולאת זרם על מוליך. טכנולוגיה זו מוכרת גם בעולם התעשייתי (הרכואי בעיקר) מאז שנות ה-70, ומדגימה דיוקים גבוהים (מסדר גודל של pT/√Hz). עם זאת, היא היא יקרה ומסובכת לתחזוקה בשל הצורך בקירור קריוגני (מה שהופך אותה רלבנטית רק למקומות שמאפשרים תשתית מתאימה לכך). שימוש ב-SQUIDs ליישומי רפואיים הולך ונעלם בהדרגה גם מהשוק הרפואי בשנים האחרונות (בניגוד לשימוש בעל מוליכים למשל בתחום החישוב הקוונטי, שם השימוש רק הולך ומתרחב...).

4.1.3 מדידים אינרציאליים וחיישני כבידה

בתחום זה המידע המפורסם מועט יותר, בעיקר בשל הרלוונטיות שלו לאפליקציות בטחוניות בתחום הניווט, שנחשב רגיש. במערכות אטומים חמים קיימות שתי סכמות ידועות למדידת סיבובים (ג'ירוסקופיה), הותיקה ביניהן היא ה-NMRG, והחדשה יותר שפותחה במעבדה של פרופ' רומאליס בפרינסטון היא Co-magnetometer. האחרונה היא השיטה המדויקת יותר, אך המורכבת יותר למימוש והדגימה רגישות של 500nrad/√Hz. מימוש מסחרי ראשון של מגנטומטר אטומים חמים ממוזער מוצע ב-Northtop Grumann, מבוסס על שיטת ה-NMRG ומגיע לביצועים של 1500nrad/√Hz. מערכת המבוססת על עקרון ה-Co--magnetometer מפותחת בחברת Twinleaf, אבל ביצועיה עדיין לא מפורסמים.

^[1] צפון אמריקה: ארה"ב, קנדה, ברזיל; אירופה: צרפת, בריטניה, גרמניה, איטליה, פולין ועוד; אסיה: סין, קוריאה, יפן, הודו; שאר העולם: אוסטרליה, דרום אפריקה, תורכיה, מצרים, ערב הסעודית ועוד

^[2] בארץ קיימת מעבדת תקינה לזמן ותדר, כחלק מהמעבדה הלאומית לפיסיקה. אך מעבדה זו במצב ירוד, ותפקודה מוגבל מאד

^[3] המיזם הלאומי למערכות נבונות בטוחות - חלק ב' דוחות צוותי המשנה ורשימת משתתפי המיזם | 137

^[4] 123 Communication, Emergency Services, Information Technology, Banking & Finance, Healthcare & Public Healthcare, Energy/ Electric power & Oil & Natural Gas, Nuclear, Dams, Chemical, Critical Manufacturing, Defense Industrial base, Postal & Shipping, Transportation, Government Facilities, Commercial Facilities

^[5] 136 | המיזם הלאומי למערכות נבונות בטוחות - חלק ב' דוחות צוותי המשנה ורשימת משתתפי המיזם

במערכות אטומים קרים, המערכות למדידת סיבובים מבוססות על אינטרפרומטר Sagnac באמצעות אטומים ניטראליים. שתי הדגמות מעבדתיות הציגו דיוקים גבוהים בהרבה מהמערכות של האטומים חמים (כ-0.6nrad√Hz וכ-30nrad√Hz בשתי שיטות מדידה שונות). עם זאת, המערכות שמדגימות דיוקים אלו הינן בגדלים גדולים בהרבה ממערכות האטומים החמים (כ-2 מטרים לאורכם).

בתחום האטומים הקרים (בתחום אינטרפרומטריה אטומית) קיימים גם יישומים של מדידות כבידה ותאוצה במערכת ניידת המגיעות לכ- 10ng√Hz ויציבות בזמנים ארוכים של עד 1 ng. כמו כן, בתחום זה יש מאמץ משמעותי לפתח מערכות שניתן להשתמש בהן מחוץ למעבדה (MuQuans, Humboldt university Berlin, AOSense, M2Laser, SYRTE). חברת MuQuans משווקת מערכות גרבימטריה מסחריות עם דיוקים מפרטיים של 500ng√Hz ו-AOSense-ו משווקת הן גרבימטר והן מדידי סיבוב בעלי מפרט מסווג. לבסוף, גם בריטניה החלה בפיתוח של מדידים אינרציליות מבוססי אטומים קרים למערכות אסטרטגיות שלהן (בשיתוף M2Laser-ו Imperial College), אך נראה שהם נמצאים עדיין בשלב ראשוני.

4.2. תקשורת והצפנה קוונטיות

הפעילות כיום בתחום התקשורת הקוונטית היא מהותית, ואף הולכת וגדלה, ברמה האקדמית, המסחרית והמדינתית. באקדמיה התחום רוגש ופעיל מאד, כאשר המאמץ מופנה בעיקר לשיטות להגדלת הקצב והטווח של התקשורת. כמדינה, הממשלה הסינית היא המובילה העולמית. בין היתר, היא מפעילה כבר קו יבשתי פעיל באורך של 2000 ק"מ בין בייג'ינג ושנחאי, המשמש לתקשורת הפיננסית הסינית, וכן שיגרה בשנת 2017 לוויין תקשורת קוונטי (Micius) המאפשר לקיים תקשורת קוונטית גלובלית (אם כי עדיין בקצב נמוך מאד). במקביל, פעילות מדינתית ענפה קיימת בכל המדינות המתקדמות בעולם, רובה מן הסתם חסוי. בקנדה יש מאמץ לאומי בהובלת Thomas Jennewein שכולל גם בניית לוויין. בסינגפור נבנה לפני מספר שנים מדגים לאומי בתווך חופשי. כעת מפותח שם ננו-לוויין לממסר QKD. שוגרו כבר שניי ננו-לוויינים עם חלקי הטכנולוגיה, ובתוכנית יש עוד שלושה לשנתיים שלוש הקרובות, כאשר האחרון הוא מדגים מלא לכל הטכנולוגיה. באיחוד האירופי יש מגוון גדול של פרויקטים, כמו ה QKD-Testbed שמתכוון להניח קווי תקשורת מוצפנים בטכנולוגיה בשלוש ערים שונות.

בתחום התעשייתי, נכון להיום, קיים כבר מספר קטן של חברות בעולם המוכרות ציוד קצה להצפנה קוונטית לתקשורת בתחומי המטרו - לדוגמה IdQuantique השוויצרית, החברה המובילה בתחומה בעולם. החברה קיימת משנת 2001 ומתקינה מערכות לניסיון משנת 2007. כיום היא מוכרת כבר מערכות הצפנה מלאות המבוססות על הצפנה קוונטית, במחיר לרכישה בודדת של כ-\$200,000, וככל הידוע מכרה כבר מספר מאות מערכות. לפני כשנה נרכש חציה ע"י SKT (חברת הבזק של קוריאה הדרומית) תמורת 65 מיליון דולר. המערכת המסחרית המובילה שלהם מייצרת כ-0.5Mspbs בפרוטוקול COW ומשתמשת בגלאי פרי פיתוחם העצמי. בחודש האחרון היתה הכרזה על השקעה נוספת בחברה של דויטשה טלקום. חברת ADVA ביצעה ב2018 הדגמה טכנולוגית על תשתית של BT עם ציוד שלהם ושל טושיבה אנגליה. חברה נוספת בשם Quantum Exchange משתמשת בציוד של IDQ כדי להניח קווים לחלוקת מפתחות באיזור ניו-יורק-ניו-ג'רסי ולמכור ללקוחות את המפתחות כשירות.

חברה נוספת שנוסדה בשנת 2001 היא MagiQ האמריקאית, שבעבר פרסמה את ציוד ההצפנה הקוונטית שהיא מוכרת. כיום החברה קיימת, אך אינה מפרסמת קו מוצרים זה. יש אמירות לפיהן הלקוחות שלה הם רק בתחום הממשלתי האמריקאי.

בשנים האחרונות קמו מספר חברות בתחום זה. חברה אמריקאית צעירה בשם Qubitekk מבטיחה מוצר הצפנה קוונטי, שלהערכת מומחים ישראלים מבוסס על זוגות פוטונים שזורים. נראה שהמוצר מכוון לתחום התשתיות הקריטיות ושרוב המימון שלהם הגיע מה- DOE האמריקאי. חברה אוסטרלית בשם Quintessence Labs מייצרת מקור למספרים אקראיים קוונטיים מאוד מהיר לצורך הצפנה, אך לא נראה שהם עובדים בכיוון הצפנה. החברה האנגלית Kets טוענת לטכנולוגיית QKD על צ'יפ. הם בתחילת דרכם, כך שקצב התקשורת והבטיחות שלהם לא הוכחה.

לבסוף, ישנן שתי חברות סיניות - Qasky-ו QuantumCtek, שאחראיות כנראה לכל ההדגמות הגדולות בסין, ויצאו ככל הנראה מהמעבדות Hefei-ב

נכון להיום, תקשורת קוונטית אפשרית בסיבים אופטיים לטווחים קצרים (קילומטרים בודדים) עד בינוניים (מאות קילומטרים)^[26] בקצבים הנעים בין כמה מגהביט/שניה עד ביטים בודדים בשניה (בתלות חזקה מאד במרחק). תקשורת לוויינית מאפשרת קשר קוונטי ברמה גלובלית, אך בקצב נמוך של כמה ביטים לשניה לכל היותר.

האתגר הברור הוא פיתוח של שיטות חדשות שיאפשרו להגדיל באופן מהותי את קצב המידע הבסיסי וכן של משחזרים קוונטיים (repeaters quantum) שיאפשרו להתגבר על מגבלת המרחק בסיבים אופטיים. אתגרים אלו דורשים תמיכה רחבה, הן במחקר בסיסי והן במאמצי פיתוח מסחריים.

4.3. חישוב קוונטי

ישנה חלוקה ברורה בתחומי העשייה במחשוב קוונטי בין האקדמיה לתעשייה. האקדמיה מובילה במחקר בסיסי, למשל ייצור קיוביטים בודדים באופנים חדשניים, מחקר תיאורטי בשזירות, וכדומה. התעשייה מצדה מובילה בכל מה שקשור לסקאלביליות ולבניית מחשבים אמיתיים, החל מרמת השבב, מערכות האלקטרוניקה והקירור, ומערכות הובלת האות. בנוסף, התעשייה שמה דגש רב על פיתוח אלגוריתמים עבור תחומי ידע ותעשיות מגוונות, שיוכלו לרוץ ולתת ייתרון קוונטי גם על מחשבים קוונטיים רועשים. הסיבה היא מפני שהתעשייה מבינה שללא הוכחת ערך בטווח הקרוב, יהיה קשה מאוד להצדיק את ההשקעה בטווח הארוך.

לא קיימות עדיין דרכים אוניברסליות להגדרת איכות המחשב הקוונטי. דרך שהופכת למקובלת לאחרונה היא בעזרת "הנפח הקוונטי". גודל זה גדל באופן ישיר עם היכולת של המחשב להריץ אלגוריתמים קוונטיים מסובכים יותר ויותר גם על מחשב קוונטי רועש. מאד חשוב להבין שמספר הקיוביטים הוא רק פרמטר אחד, ולא דווקא החשוב ביותר בנפח הקוונטי. הנפח הקוונטי מחושב כמכפלת הגורמים הבאים:

א. מספר הקיוביטים במחשב: ככל שמספר הקיוביטים גדול יותר, כך ניתן להריץ אלגוריתמים מסובכים יותר

ב. זמן הדה-קוהרנטיות של הקיוביט (הזמן הממוצע בין שתי פעולות רעש): ככל שזמן זה גדול יותר, ניתן להריץ יותר שערים בין שתי פעולות רעש

ג. חיבוריות הקיוביטים: ככל שהחיבוריות גדולה יותר, נדרשים לפחות שערי החלפה (SWAP) בין קיוביטים, וכך מקטינים את אורך המימוש של האלגוריתם

ד. קבוצת השערים הנתמכת: ככל שיותר סוגי שערים נתמכים, ניתן לממש את האלגוריתם בפחות שערים, וכך מקטינים את אורך המימוש של האלגוריתם

במחשב שבו מכפלת הגורמים הנ"ל גדולה, ניתן להריץ אלגוריתמים ארוכים וחזקים יותר בין כל שתי פעולות רעש. ניתן לבחון את תמונת המצב ה**עכשווית** במחשוב קוונטי בשני חתכים: טכנולוגיות שונות, ומצב התעשייה. מבחינת טכנולוגיות, לכל אחת מהטכנולוגיות שהוזכרו בסעיף 3.3 לעיל יש יתרונות וחסרונות ביחס לסעיפים א-ד של הנפח הקוונטי. למשל, החיבוריות בטכנולוגיות אטומיות (ניטרליות ויוניות) גבוהה הרבה יותר מזו של צמתי ג'וזפסון, שם החיבוריות היא של שכנים קרובים לכל היותר. מצד שני, מספר הקיוביטים וסוגי השערים הניתנים למימוש בצמתי ג'וזפסון משמעותית גדולה מטכנולוגיות אטומיות

בנוסף לנפח הקוונטי שמתאר באופן ישיר את יכולת החישוב, נכנסים גם פרמטרים נוספים בבחירת הטכנולוגיה, למשל אמצעי הייצור, דיוק הייצור, ויכולת השימור. מבחינות אלה טכנולוגיות המצב המוצק (צמתי ג'וזפסון ונקודות קוונטיות) הן המובילות, שכן הן משתמשות בטכנולוגיות מיקרופבריקציה דומות לסטנדט בתעשיית הסיליקון, ומותאמות למספר דורות אחורה בהשוואה לסיליקון קלסי מודרני (גודל הקיוביט העל מוליך הוא מסדר גודל של מיקרון, בהשוואה לגודל טרנסיסטור CMOS מודרני של כמה עשיריות מיקרון). כך גם, לטכנולוגיית מרכזי צבע ביהלום יש יתרון אדיר על הטכנולוגיות האחרות, שכן זו היחידה הפועלת בטמפרטורת החדר.

בחתך התעשייתי, ישנן מספר חברות בינלאומיות המובילות את התחום: יבמ, אינטל, גוגל, אליבאבא, ומיקרוסופט. כאמור בסעיף 3.3 רובן בחרו את טכנולוגיית צמתי הג'וזפסון כטכנולוגיה המועדפת עליהן. לחברות ענק אלה מצטרפת גם חברת הזנק ייעודית לתחום, ריגטי, שגם בחרה באותה הטכנולוגיה. יחד עם זאת, קיימות חברות שפועלות גם בגישת היונים הלכודים. הבולטת בהן היא חברת ION-Q, שנוסדה ע"י החוקר המוביל כריס מונרו, ואשר כבר הצהירה על ביצוע פעולות על 79 קיוביטים. חברת הזנק בתחום זה היא Alpine QUantum Technologies האוסטרית. חברה יוצאת דופן מבחינה זו היא מיקרוסופט, אך ניתן לאפיין את אופי הפעילות שלה כמחקרית בסיסית, ולא כהנדסית-טכנולוגית.

בנוסף לחומרה, מצב הטכנולוגיה התעשייתית מתאפיין בעוד שלושה פרמטרים: אלגוריתמים, תוכנה תשתיתית, והנגשה. כל החברות מפתחות גם אלגוריתמים ותוכנה תשתיתית כדי להתממשק ולאפיין את החומרה. למרבה הצער, אין עדיין סטנדרטים

^[126] הקו היבשתי הסיני מורכב למעשה ממספר מקטעים קצרים יותר, אשר יחדיו מרכיבים את אורכו בן ה-2000 ק"מ

^[127] | 138 המיזם הלאומי למערכות נבונות בטוחות - חלק ב' דוחות צוותי המשנה ורשימת משתתפי המיזם

לשפות תכנות קוונטיות ולמאפייני תוכנה, כך שכל חברה מפתחת את קבוצת הכלים שלה ובשפה שלה. בנוסף, כל חברה צריכה להחליט על מדיניות ההנגשה שלה אל החומרה והתוכנה. בדרך כלל גישה לחומרה תהיה דרך הענן, ולתוכנה דרך קוד פתוח במלואו או בחלקו.

בתחום החומרה, יבמ היתה הראשונה שסיפקה גישה למחשב קוונטי פעיל דרך הענן, ועדיין מובילה בהיבט זה, למרות שלאחרונה גם גוגל וריגטי מציעות גישה כזו. תחום התוכנה הוא היחיד שבו ארבע החברות המתמחות בתחום – יבמ, גוגל, מיקרוסופט, וריגטי, מציעות חבילות משמעותיות באותו קנה המידה. לסייום ההשוואה התעשייתית, יש לציין שאליבאבא אמנם נכנסה לתחום באיחור ביחס לחברות האחרות, אך בהינתן המרץ הפנימי בחברה, והסגירות היחסית הגדולה שלה, מאד ייתכן שכבר עכשיו ישנה פעילות מאד משמעותית ואף מובילה באליבאבא.

למרות המצב העכשווי היחסית ברור בתעשייה (קיוביטים מבוססים על צמתי ג'וזפסון, זמני דה-קוהרנטיות של כ-מילישנייה, מספר קיוביטים מתקרב למאה, וכן הלאה), אין להסיק מכך באופן ישיר על העתיד. מחקר רב מתבצע באוניברסיטאות בטכנולוגיות שונות וחדשניות, והתחום דינמי עד כדי כך שאם יתברר יתרון מובהק לטכנולוגיה מסויימת אחרת מצמתי ג'וזפסון, התעשייה תהיה ערוכה לעבור לטכנולוגיה זו. בדומה, גם בעולם פיתוח התוכנה והאלגוריתמים לא נאמרה המילה האחרונה, ואנו מצופים לראות עוד אלגוריתמים חדשים רבים בתחומי ידע תעשייתיים שיפתחו עוד ועוד את הפער בין המחשוב הקוונטי והמחשוב הקלסי, וכך ייתנו זריקות מרץ כלכליות נוספות להמשך פיתוח התחום

5. המצב בארץ (בחתכי אקדמיה, תעשייה וביטחון)

5.1. חישה קוונטית

5.1.1. אקדמיה

דוח הוועדה המייעצת לות"ת ביצע סקירה מעמיקה של העיסוק האקדמי התחום הקוונטים בכלל ובתחום החישה הקוונטית בפרט. מתוך ניתוח זה ניתן להצביע על בסה"כ מעל 100 קבוצות מחקר אקדמיות העוסקות בתחום, כאשר מרביתן עוסק בתחום החישה הקוונטית (חלק ניכר מקבוצות המחקר עוסק במספר תתי-תחומים בקוונטים).

קבוצות מחקר אלו מאופיינות במדדים אקדמיים בגיל צעיר יחסית של החוקרים, ומצוינות אקדמית גבוהה הן בתוך תחום הקוונטים ביחס לעולם והן בהשוואה לתחומי מדע והנדסה אחרים.

דוח הוועדה גם זיהה חוסר משמעותי בכוח אדם (כולל בראייה עתידית של צפי בוגרים של המערכת האקדמית בתחום זה), וכן צורך בשיפור האינטרדיסציפלינריות בין תחומי הפיסיקה, מדעי המחשב, וההנדסה בתחום זה. זאת ועוד, חוסר בכוח האדם המקצועי בתחום משפיע גם על התעשייה, שכיום כמעט ולא מעורבת בתכניות האקדמיות ובהכוונתן לצרכי התעשייה.

כמעט בכל אוניברסיטאות המחקר הוקמו בשנים האחרונות (או נמצאים בתהליכי הקמה) מרכזים למדע וטכנולוגיות קוונטים המאגדים חוקרים רבים ממחלקות שונות, העוסקים בתחום. מרבית המרכזים הינם עדיין 'וירטואליים', כלומר חסרי תשתית, אך מרכזים את הפעילויות ואת תקציבי המחקר סביב מעבדות החוקרים.

הדו"ח של ות"ת מסכם את תמונת המצב האקדמית בצורה מצוינת, ועל כן אין כאן מקום לחזור על הכתוב בו. הקוראים מופנים לדו"ח המקורי להרחבה בנושא זה.

5.1.2. תעשייה

פעילות המו"פ בתעשיות השונות בארץ ומיפוי תעשיות:

o רפאל (חטיבת חימוש) - בחטיבת חימוש פועל מרכז מצוינות (תלמ"י) של מפא"ת ורפאל בתחום האופטיקה הקוונטית מזה מספר שנים. קבוצה זו מבצעת מחקרים מדעיים גנריים בתחום טכנולוגיות קוונטיות אטומיות, בדגש כמעט מוחלט על תחום החישה הקוונטית המדויקת. הפלטפורמות הפיסיקליות בהן נעשה שימוש במחקרים מגוונות וכוללות אטומים חמים, אטומים קרים, ומרכזי צבע ביהלום. הפעילות מאופיינת בשת"פ הדוק עם קבוצות מחקר אקדמיות בארץ ובחו"ל, פרסום מחקרים אקדמיים

בכתבי עת מובילים, ומשמשת גם להכשרת אנשי רפאל בתארים מתקדמים.

מקבוצה זו יוצאים גם פרויקטים יישומיים יותר. מיקוד העיסוק בחישה קוונטית של זמן ותדר (בעבר), חישה קוונטית של שדות מגנטיים חלשים, וחישת קוונטית באמצעות אינטפרומטריה של גלי חומר (בהווה). פעילות הקבוצה נעשית בצמוד עם כוחות הנדסה בחטיבת חימוש ומחוצה לה.

o רפאל (חטיבת מנו"ר) - גם בחט' מנו"ר פועל מרכז מצוינות (תלמ"י) של מפא"ת ורפאל, בתחום התקנים קוונטיים ממוזערים בטכנולוגיות MEMS. קבוצה זו מפתחת תשתית גנרית למזעור של התקנים קוונטיים, וכיום מתמקדת בעיקר בשילוב ליבות קוונטיות זעירות בשעונים אטומיים (שת"פ עם אקיוביט).

o אקיוביט - פועלת מעל 25 שנה בתחום השעונים האטומיים, ובעלת מכירות לגופים רבים ומגוונים בארץ ובעולם, הן לשוק הצבאי והן לשוק האזרחי. פעילויות המו"פ העיקריות בהן עוסקת החברה כיום כוללים שעונים אטומיים קטנים ודלי הספק, שעונים אטומיים בעלי ביצועים דומים לשעונים ראשוניים, שרתי זמן, הפצת זמן, והתמודדות של שעונים אטומיים עם הפרעות מסוגים שונים. החברה מבצעת שת"פ הדוק הן עם הקבוצה ברפאל-מנו"ר, והן עם קבוצות אקדמיות באב"ג, מכון וייצמן, ועוד.

o תעשייה אווירית (רמתא) - תחום פיתוח מע' יבשה במפעל רמתא פעיל מזה כ-10 שנים בתחום החישה המגנטית הקוונטית בשדות גבוהים, הן ליישומים של מספר חיישנים מועט, והן ליישומים המערבים מע' מרובות חיישנים. הפעילות בחברה בשת"פ צמוד עם קבוצות מחקר באב"ג, ומשתרעת החל מהרמה המחקרית ועד למימוש יישומי בשטח.

o תעשייה אווירית (אלתא ומב"ת) - פעילות ראשוניות ומצומצמת מאד גם ללימוד ובחינת נושא מכ"מ קוונטי. פעילות זו צפויה להיות מורחבת בש"ע 2019.

o אלביט - אלביט רכשה לאחרונה את חברה קילו-למבדה שעוסקת בעיקר בתחום ציפויים אופטיים שונים. חלקם מתבססים על נקודות קוונטיות. בנוסף, החברה משתתפת בפרויקט אירופי בתחום המחשוב הקוונטי. בנוסף, אלביט הביעה רצון לכניסה לתחום גלאים קוונטיים לתחום ה-IR כתחליף מא"כ (מגבירי אור כוכבים לראיית לילה), הן לתחום הבטחוני והן לתחום האזרחי, וכן כצרכן אפשרי לחיישנים מגנטיים קוונטיים כחלק ממע' הקסדה החכמה לטייסים.

o מלאנוקס - נכנסה לאחרונה לתחום התקשורת הקוונטית בהיבט data centers, ואף שולבה במספר פרויקטים באיחוד האירופי, כולל ב-flagship הקוונטי. בנוסף, הביעה עניין גם בתחום הזמן והתדר (ספציפית בהפצת זמן מדויק בתוך חוות שרתים), אך טרם נכנסה לפעילות של ממש בנושא זה.

o חברות הזנק - בשנה האחרונה החלו לפעול מספר חברות הזנק בתחום הקוונטים בישראל. כל החברות שיצוינו כאן ובסעיפים הבאים הינן בשלבים מוקדמים (מאד) של פעילות.

- NVision - חברה שנמצאת למעשה בגרמניה, ליד אונ' Ulm, שהוקמה בחלקה ע"י ישראליים (החוקר האקדמי המוביל הוא פרופ' אלכס רצקר מהאונ' העברית). החברה עוסקת בשימוש במרכזי צבע ביהלום על מנת לקטב מולקולות מטבוליות המשמשות ל-MRI משופר. האתגר הטכנולוגי בו מתמקדת החברה הוא בעלות ובזמן הקיטוב של מולוקולות אלו. החברה קיימת מ-2015, גייסה כבר סכום ראשוני, והדגימה תוצאות ראשונות במעבדה.

- Quantum Machines - חברה העוסקת במימוש חומרה לשליטה ובקרה על ליבות קוונטיות (בעיקר באוריינטציה של מחשוב קוונטי אך ייתכן שיהיה רלבנטית גם לחישה קוונטית). החברה נוסדה ע"י ד"ר איתמר סיון, ד"ר יונתן כהן, וד"ר נסים אפק, בוגרי מכון וייצמן והמרכז ליזמות במכון. החברה גייסה כבר הון ראשוני מקרנות הון-סיכון.

היקף הפעילות וסוג האנשים - מניתוח הצוותים התעשייתיים הפעילים בחברות הישראליות בתחום, עולה כי כ-60 אנשי מו"פ עוסקים בפרויקטים שליבת הטכנולוגיה שלהם קוונטית. ההובלה במרבית הפרויקטים נעשית ע"י פיסיקאים, אך בכל התעשיות מעורבים גם אנשי הנדסה. מעבר לכך, בתעשיות הגדולות נעשה שימוש בכוח עזר הנדסי שנותן שירותים לפעילויות הליבה, בהיקפים של כ-10-20 אנשים.

הרחבה נוספת ניתן למצוא בדוח הרשות לחדשנות (בשיתוף מפא"ת) שדן בפן התעשייתי של תכנית הקוונטים הלאומית.

^[1] המיזם הלאומי למערכות נבונות בטוחות - חלק ב' דוחות צוותי המשנה ורשימת משתתפי המיזם

5.1.3. בטחון

מפא"ת פעילה בתחום הקוונטים בכלל מעל 15 שנה, בעצימות הולכת וגדלה. לאורך כל שנות הפעילות עד כה, המיקוד במפא"ת היה בתחום החישה הקוונטית. זאת מתוך הגישה שתחום החישה הקוונטית הינו הבשל ביותר טכנולוגית, וניתן לקבל ממנו מענה ברור לצרכים מבצעיים מוגדרים תוך זמן קצר יחסית.

בשלב ראשון (עד 2010 לערך), התמקדה התכנית במפא"ת בגיבוש בסיס ידע והבנה לגבי מדע וטכנולוגיות קוונטים, תוך השקעה כמעט לחלוטין באקדמיה. בין 2015-2010 החלו להתבצע פרויקטים של מו"פ תוך שילוב הולך וגובר של התעשייה. בתקופה זו הוגדרו גם 2 מרכזי המצוינות של מפא"ת ברפאל (חימוש, מנו"ר). החל ב-2015 הוגדר תחום הקוונטים במפא"ת כתחום אסטרטגי והוגדרה בו תכנית רב-שנתית במיקוד הנהלה, תוך שימת דגש על העברת מרכז הכובד מהאקדמיה לתעשייה, ועיסוק ממוקד במו"פ יישומי, תוך שילוב ושיתוף עם כלל מחלקות המו"פ של מפא"ת ואף מנהלות מפא"ת, גורמי אמל"ח ומבצעים זרועיים, ועוד.

במסגרת התכנית המפא"תית מתבצע גם שיתוף פעולה בינלאומי במו"פ בתחום הקוונטים, כפי שיפורט בהמשך המסמך.

מבלי להיכנס לפרטים מסווגים, ניתן לומר כי כבר מזה מספר שנים ישנם התקנים קוונטיים המשולבים במערכות לחימה ובשדה הקרב ומביאים להישגים מבצעיים של ממש, כולל בבעיות מבצעיות קשות. ישנו מו"פ המבוצע לקראת מע' חישה קוונטית עתידיות שהינו ברמה עולמית.

5.2. תקשורת קוונטית

האקדמיה הישראלית עוסקת בעולמות התקשורת הקוונטית, הן בכפן התיאורטי שלה, והן בכפן היישומי, כולל בפיתוח אבני בניין טכנולוגיות נדרשות, מזה שנים רבות. בישראל קיימות כיום קבוצות מחקר, שחלקן ברמה גבוהה בנושא תקשורת קוונטית, אך ישראל איננה יכולה להחשב מדינה מובילה. בעשור האחרון מתקיים בארץ מאמץ בנושא תקשורת קוונטית הממוקם בעיקר באקדמיה ונתמך בהיבטים טכנולוגיים על ידי מערכת הבטחון (מפא"ת) ועל ידי קרנות תמיכה במחקר בסיסי (כדוגמת הקרן הלאומית למדע וקרנות דו-לאומיות). בשנה האחרונה קמה גם חברת הזנק בתחום, מבוססת על חוקרים אקדמיים.

באוניברסיטה העברית הוקם לפני כשנתיים בתמיכת מפא"ת פרויקט המיועד להדגמה טכנולוגית פרקטית של תקשורת קוונטית, כולל בחינת היכולות והמגבלות של שיטות ואבני בניין שונות. קבוצות מחקר ניסיוני בתחום הישיר של תקשורת קוונטית קיימות באוניברסיטת בר-אילן ובטכניון (להבדיל מהתחום הרחב יותר של אינפורמציה קוונטית הנחקר באופן נרחב בכל אוניברסיטאות המחקר). וכן קיימים חוקרי תאוריה של מידע קוונטי בכל אוניברסיטאות המחקר.

בעולם הביטחוני-ישראלי, מפא"ת תומכת למעלה מעשור בנושא במחקר הבסיסי, הן בחומרת אבני הבניין הדרושות, והן בכרוטוקולים ובאלגוריתמים הנדרשים. לפני שנים ספורות הרחיבה מפא"ת את העיסוק, להיבטי מו"פ מוכוון-יישום. לצורך כך, תומכת מפא"ת בהקמת ה-test bed המערכתי שהוזכר לעיל, שמיועד להדגמת הטכנולוגיה ויכולותיה, לבחינת חסינות ועמידות, ושילוב אבני בניין ואלגוריתמים מתקדמים, לשם בחינתם ברמה המערכתית.

השוק התעשייתי הישראלי הוא מצומצם ביותר. בפועל, קיימות רק התחלות של עיסוק בתחום:

o מלאנוקס - נכנסה לאחרונה לתחום התקשורת הקוונטית בהיבט data centers, ואף שולבה במספר פרויקטים באיחוד האירופי, כולל ב-flagship הקוונטי. בנוסף, הביעה עניין גם בתחום הזמן והתדר (ספציפית בהפצת זמן מדויק בתוך חוות שרתים), אך טרם נכנסה לפעילות של ממש בנושא זה. עדיין לא ברור אם ואיך רכישתה תשפיע על עיסוקה בתחום.

o QuantLR - חברה בשלבי גיוס (קיבלה מימון ראשוני בתכנית החממות של הרשות לחדשנות) המתעתדת לעסוק בתחום רשתות תקשורת לווינית מאובטחת באמצעות הצפנה קוונטית. החוקר המוביל הוא פרופ' חגי אייזנברג מהאוני' העברית. החברה מכוונת לנתח השוק של מוצר בעלות נמוכה, עם קצב יצירת מפתחות מוגבל. מטרת החברה היא ליצור התקן שיספק מפתחות למוצרי תקשורת קיימים ותקניים, בעוד שהמשך תהליך ההצפנה יתקיים במוצרים הקיימים.

5.3. חישוב קוונטי

מבחינה אקדמית, חישוב קוונטי (במובנים המדעי-מחשביים שלו) נעשה במספר קבוצות קטן, וכולל חוקרים ספורים בלבד בצד התיאורטי – שמקצתם ברמה עולמית של ממש (למשל – באוניברסיטה העברית בירושלים). בנוסף, מספר קבוצות בפיזיקה תיאורטית (במיוחד בטכניון, במכון וויצמן, ובאוניברסיטת בר-אילן) עוסקות בתיאוריה של מערכות קוונטיות ושזירות, תחום שנמצא בבסיסו של המחשוב הקוונטי. מבחינה נסיונית, מספר קבוצות מפתחות קיוביטים של צמתי ג'וזפסון (טכניון, ירושלים וויצמן) יונים (ויצמן) ומספר קטן של חוקרים בשיטות אחרות (פוטונים בעברית, אטומים נייטרליים בויצמן). למרות שהמחקר האקדמי במחשוב קוונטי בארץ הינו ברמה הגבוהה ביותר (למשל, דורית אהרונוב היא מובילה עולמית בתחומה), מספר הקבוצות האקדמיות קטן ביותר, אינו מהווה מסה קריטית, ולבטח אינו די כדי להכשיר את הדורות הבאים של מדענים וטכנולוגים במחשוב קוונטי.

מבחינת התעשייה, הגורם המוביל בארץ הוא חברת יבמ. כחלק ממעבדת המחקר של יבמ בחיפה (מעבדת המחקר השניה בגודלה בעולם של יבמ אחרי מרכז המחקר ביורקטאון), קיימת קבוצת מחקר במחשוב קוונטי שהינה חלק אינטגרלי ממאמץ הפיתוח של המחשב הקוונטי של יבמ. הקבוצה בישראל עוסקת בכל האספקטים של איפיון והבנת הרעשים הקוונטיים במחשב, אם כי אינה עוסקת בפיתוח החומרה גופא. בכלל זה עוסקת הקבוצה בתיאוריה של הרעש, בבניית מודלי רעש תיאורטיים ובעזרת מחשב, בבניית סימולטורים של מחשבים קוונטיים רועשים, ובפיתוח היבטי הרעש בתוכנת הקוד הפתוח של יבמ. הידע הנצבר מפעילות זו רחב בהרבה מההתמקדות ברעש, וכולל הרבה מהידע התיאורטי והעסקי הנדרש לפיתוח מחשבים קוונטיים.

הקבוצה ביבמ פתוחה מאד לשיחות והחלפת מידע עם כל גורמי המחקר והפיתוח בארץ (כמובן ללא חשיפת סודות עסקיים בין אף אחד מהגופים). למעשה, קבוצה זו מוכרת מאד בארץ וניהלה שיחות והרצאות הדדיות עם מרבית הגופים הרלוונטיים בארץ.

נכון לעכשיו, יתר התעשיות הקוונטיות שנזכרו בסעיף 4.3 אינן מקיימות פעילות קוונטית בישראל. אך מכיוון שלכל החברות הבינלאומיות הנזכרות ישנן מרכזי פיתוח בארץ (כולל אליבאבא שמתעתדת לפתוח מרכזים כאלה), לא מן הנמנע שבחלקן אכן תוקם פעילות קוונטית. כמובן, כמו בכל שאר ההיבטים של עבודה קוונטית בארץ, אחד החסמים להתפתחות כזו הינה המחסור בכח אדם מחקרי קוונטי, והיעדר אופק נראה לעין להכשרת כח אדם זה בכמויות משמעותיות.

בנוסף לאמור לעיל, יש לחזור ולציין כחריג את חברת Quantum Machines - חברה שכבר גייסה הון ראשוני של מספר מיליוני דולרים מקרנות הון סיכון, ואשר מתעתדת לעסוק במימוש חומרה לשליטה ובקרה על ליבות קוונטיות (בעיקר באוריינטציה של מחשוב קוונטי אך ייתכן שיהיה רלבנטית גם לחישה קוונטית). החברה נוסדה ע"י ד"ר איתמר סיון, ד"ר יונתן כהן, וד"ר נסים אפק, בוגרי מכון וייצמן והמרכז ליזמות במכון.

5.4. תכניות ממשלתיות קיימות ומתוכננות

עד כה, התכנית הממשלתית הייעודית היחידה לתחום הקוונטים פעלה ופועלת במפא"ת.

לאורך השנים ניתן מימון לא ייעודי הן ע"י האקדמיה (בתקציבי ות"ת ומתקציבי האוניברסיטאות עצמן ע"ב תרומות בד"כ), והן ע"י הרשות לחדשנות (בעיקר במספר פרויקטי מימ"ד, מגנטון וקמיון). תרומת משרד המדע היתה עד כה מזערית. מערך הסייבר נכנס לאחרונה לתחום.

יש לציין בנוסף מספר קשרים בינ"ל לתכניות הממשלתיות, כדוגמת מספר לא מבוטל של מלגות ERC לחוקרים מצטיינים באקדמיה שניתנו בתחום הקוונטים, ועוד מספר מצומצם מאד של פרויקטים בשת"פ בינ"ל (למשל פעילות בתחום התקשורת הקוונטית עם נאט"ו שמשולב בה חוקר מאב"ג).

בשנתיים האחרונות לערך, עם התגבשות התכנית האירופית המרכזית (Flagship), התגבש צוות בינמשרדי שכולל את ות"ת, הרשות לחדשנות, מפא"ת, ומשרד המדע. תחילה הצוות תיאם מהלכים, ולאחר מכן החל לגבש תכנית לאומית.

במסגרת תכנית מתגבשת זו, ישנם 4 מאמצים עיקריים²⁷:

1. קרן לתמיכה ישירה למחקר אקדמי (ושדרוג ציוד מעבדות חוקרים) ייעודית לתחום הקוונטים, שהינה שיתוף פעולה בחלקים שווים של מפא"ת וות"ת. מסגרת הקרן המשותפת 100 מש"ח ל-5 שנים, כאשר 75 מש"ח מנוהלים באמצעות הקרן הלאומית למדע (ISF) בשיפוט משותף עם מפא"ת, והיתרה מנוהלת ע"י מפא"ת. קול קורא ראשון של קרן זו נמצא כיום בתהליך השיפוט

^[1] פירוט מלא קצת יותר ניתן לראות בסעיף

לאחר קבלת הצעות המחקר בנוב' 2018. יש לציין כי הוגש מספר רב של הצעות מחקר, שברובן מורכבות מקבוצות של חוקרים (ולא חוקרים יחידים), והתחרות על התקציב הקיים תהיה קשה.

2. מאגד מגנ"ט לתמיכה ישירה במו"פ גנרי טכנולוגי יישומי בתחום החישה הקוונטית. זהו שיתוף פעולה של הרשות לחדשנות עם מפא"ת ועם מערך הסייבר, לקידום התעשיות העיקריות הקיימות כיום בתחום הקוונטים בישראל, שעוסקות בתחום החישה הקוונטית. המאגד, בשיעור של כ-50 מש"ח ל-3 שנים, קיבל באוקטובר 2018 'אור ירוק' עקרוני, ונמצא כעת בשלבי ההתאגדות וניסוח תכניות העבודה המפורטות. הוא צפוי להיות מאושר סופית במחצית הראשונה של 2019, ולהתחיל לפעול. תחומי העיסוק הכלולים במאגד הינם תחום הזמן והתדר (הפצת זמן, שעונים לתפוצה רחבה, ושעונים בדיוק גבוה), תחום החישה המגנטית הקוונטית (בחיישנים בודדים ובמערכות רב-חיישניות), ותחום חישת הגרביטציה. הגורמים המעורבים בביצוע המו"פ במאגד כוללים את אקיוביט, רפאל, תע"א, machines quantum, כ-10 קבוצות אקדמיות ממגוון מוסדות מחקר, וכן מספר גורמים שישמשו כמשתמשי קצה עתידיים, ויכוונו את המו"פ לצרכיהם - חברת חשמל, סלקום, המכון הגיאופיסי לישראל, elmindaeeye, inner, וייתכן שיתווספו גורמים נוספים.

3. תשתיות לאומיות למחקר (תל"מ) - פורום תל"מ בוחן בימים אלו בוועדה מקצועית בלתי-תלויה, את הצורך ואפיון תשתיות לאומיות למחקר בתחום הקוונטיים (מעבר לתמיכה הישירה במחקר ובמו"פ תעשייתי כפי שהוסבר לעיל). הוועדה הוקמה ע"ב הצעת ות"ת (בשיעור של כ-300 מש"ח ל-5 שנים) לצרכי תשתית לאקדמיה, ועבודת מטה שבוצעה ברשות לחדשנות לאפיון צרכי התעשייה לתחום בנוסף לכך. ועדה זו הציגה במרץ 2019 את מסקנותיה לפורום תל"מ, אשר אישר אותן עקרונית, בכפוף להמשך בדיקות שמוגדרות בימים אלה.

4. המאמץ האחרון מאגד בתוכו קליטת אנשי סגל לאקדמיה, רענון ושדרוג תכניות הלימוד האקדמיות, תכניות למשיכת פוסט-דוקים מחו"ל, ונושאים נוספים כגון שיפור ממשקי העברת הידע מהאקדמיה לתעשייה ושילוב התעשייה בתכנית הלאומית האקדמית. עפ"י דוח הוועדה המייעצת לות"ת היקף ההשקעות הנדרש לנושאים אלו הוא מסדר גודל של 200 מש"ח ל-5 שנים.

5.5. ההון האנושי (מצב קיים ופערים להגדלתו)

כח האדם בארץ הינו קטן אך איכותי. מסקנה זו עולה גם מדוח ות"ת, וגם מבדיקות של קבוצת עבודה זו. כמות העוסקים בתחום הינה מצומצמת, ומספיקה בקושי למילוי הצרכים הקיימים, ובוודאי לצרכים הלאומיים העתידיים. יחד עם זאת, ההישגים של העוסקים בתחום הם במקרים רבים בחזית ההישגים העולמיים, דבר המעיד על הפוטנציאל של יכולות המדינה.

הפער העיקרי בתחום ה-QIS, בארץ כמו גם בעולם, הינו פער ההון האנושי. זהו משאב הנמצא בחסר באקדמיה וכפועל יוצא מכך גם בתעשייה. חלק מהמסקנות וההמלצות להלן יתייחסו להון האנושי ולדרכים לפיתוחו, אם בהגדלת מספר העוסקים בתחום, ואם בהכשרתם ובהכוונתם, ובפלטפורמות החומרה שנדרשות לפתחם בחלק מהמקרים. יש לציין כי משך הזמן הנדרש להכשרת כוח האדם בתחום הינו ארוך (8 שנים), ולכן יש הכרח להתחיל באופן מידי בהרחבת כוח האדם בעל הידע. בנוסף יש להדגיש כי על מנת שלא להגדיל הפער האמור אף יותר, יש לוודא, אף ביתר שאת מתחומים טכנולוגיים ומדעיים אחרים, את השארות הכוחות הישראלים הקיימים בארץ – ולשם כך יש לוודא המצאות תשתית ופוטנציאל התפתחות להמשך מו"פ בתחום ה-QIS ובתחומים קרובים. היבט נוסף של הון אנושי הינו כוח האדם הטכני (בעל מומחיות מספקת) הדרוש להפעלת תשתיות החומרה הקיימות והעתידיות.

5.6. פוטנציאל לשת"פ בארץ: אקדמיה/תעשייה/ביטחון

אחד התנאים לעמידה במטרת המיזם – הצבת מדינת ישראל בחמישיה המובילה בעולם בתחום זה – הוא יצירת אקו-סיסטם מלא של גורמי האקדמיה, התעשייה והביטחון, אשר יפרו זה את זה ויפעלו יחדיו לקידום מטרות משותפות. הצרכים העקרוניים שניתן לסמן לכל אחד מהגורמים הם:

5.6.1. אקדמיה

יצירת תנאים שיאפשרו מחקר ברמה גבוהה והיקף ראוי של מחקר מדעי בסיסי בתחומים אלו בישראל (מטרה זו תומכת את מטרות העל הבאות, אך מהווה מטרת על בפני עצמה).

5.6.2. תעשיה

יצירת סביבה (אקו-סיסטם) שתאפשר התפתחות של תעשייה אזרחית בתחומים אלו בישראל, בפרט במקרה שבו יתברר כי התחום הופך להיות מהותי בתעשייה עתירת הידע.

5.6.3. ביטחון

קיום הידע בישראל שיאפשר הבנה ופיתוח של יישומים קריטיים למערכת הביטחון בתחומים אלו. ידע זה יאפשר לזהות את העיתוי הנכון שבו יישום קריטי כזה מתאפשר, יאפשר לפתח אותו בזמן סביר, וקיומו של הידע בישראל יאפשר שיתוף פעולה עם מדינות אחרות.

בנוסף לצרכים הפרטניים, יש חשיבות גבוהה ליצירת התנאים שיאפשרו שת"פ בין כלל הגורמים. קיימים כבר ניצנים של שת"פ כזה, כפי שניתן למצוא בקרן המחקרים המשותפת שהוקמה ע"י ות"ת ומפא"ת, ובמאגד החישה הקונטית שממומן ע"י הרשות לחדשנות ומפא"ת. הרשות לחדשנות גם סייעה בעבר להעברת ידע מהאקדמיה לתעשייה במנגנונים הקיימים שלה. קבוצת העבודה מצביעה על כך כי **קיים פוטנציאל נרחב הרבה יותר לשת"פ, ועל כך ששת"פ כזה הוא חיוני לעמידה במטרת המיזם**. פרק ההמלצות בהמשך מסמך זה מכוון לבניית התשתית הנחוצה למימוש נדבכי הפעילות וליצירת השת"פ ביניהם.

6. ניתוח: המצב בארץ בהשוואה למובילים העולמיים

6.1. יתרון יחסי

בתחום החישה הקוונטית ישנה פעילות מבוססת בארץ בתחומי הזמן והתדר, והמגנטומטריה. קיימת גם פעילות בתחומים נוספים, מסווגים. מאידך, ישנם עוד מספר נושאים שכיום אינם מטופלים כמעט בארץ. אלו כוללים למשל את תחום המכ"מ הקוונטי, מדידות מרחוק בכוטונים בודדים (few photon detection and imaging), דימות קוונטי, ועוד.

בתחומים בהם קיימת פעילות חישה קוונטית בארץ ניתן לומר כי הבשלות הטכנולוגית היא יחסית גבוהה, ונמצאת באופן טיפוסי בקו אחד עם רמות הביצועים של ה-state of the art שהודגמו בעולם במקרים רבים (זאת בעיקר בתעשייה; מאידך, תוצאות high-end כגון השעונים האופטיים של NIST לא הודגמו באקדמיה הישראלית). זאת, כאשר במרבית המקרים גובה ההשקעה להשגת רמות ביצועים כפי שהודגמו, הינו נמוך משמעותית מההשקעות במו"פ במקומות אחרים בעולם.

לכן, ניתן לומר שבתחום החישה הקוונטית ניתן לבסס יתרון יחסי לישראל. ישנו בסיס מוצק הן אקדמי (מרבית קבוצות המחקר העוסקות במדע וטכנולוגיות קוונטים עוסקות לכחות בחישה קוונטית, עפ"י הניתוח שנעשה בוועדה של ות"ת), והן תעשייתי, וישנו רצון של גורמים תעשייתיים נוספים לכניסה לתחום (למשל - אלביט, מלאנוקס, ממ"ג, והתחלה של חברות הזנק).

תחום התקשורת הקוונטית בארץ מצומצם יותר ובשל פחות מתחום החישה הקוונטית. ישנם מרכזי כובד אקדמיים בתחום (בעיקר באוני' העברית ובטכניון), ולאחר כעשור של עבודה בעצימות נמוכה על אבני בניין, קיים כיום פרויקט מערכתי קטן של מפא"ת באוני' העברית (בשילוב חוקר מאוני' ת"א, וליווי תעשייתי מזערי של חברות אופסיס ורפאל), למימוש test-bed מערכתי ראשון בישראל. כמו כן, קיימת חברת הזנק חדשה אחת בתחום. אין עדיין נוכחות תעשייתית בולטת בחברות אחרות.

לישראל יכול להיות יתרון יחסי בשילוב יכולות הפצת מפתחות קוונטית, מעצם גודלה הקטן. הדבר משליך על טווחי פעולה קצרים, שמפשטים מאד את היישום בהשוואה למדינות שנזקקות לקווים יבשתיים ארוכים ואף לתקשורת לוויינית. בנוסף, ידע קלאסי משלים (הצפנה לסוגיה) קיים בארץ ברמה גבוהה, דבר שיכול לסייע בבדיקת המערכות ואימות אמינותן. יחד עם זאת, בהשוואה למצב בעולם, יתרונות אלה אינם מכריעים. **לכן, נראה שבתחום זה אין בסיס ליתרון יחסי משמעותי של ישראל,** על אף החשיבות הגדולה שלו. ההתייחסות לתחום זה צריכה להיות כחלק שמשלים לשאר התחומים, אשר יש להמשיך ולטפל בו, אך בעצימות נמוכה יחסית.

המצב הקיים בארץ בתחום המחשוב הקוונטי הוא חסר מאד. ישנו מספר קטן של קבוצות מחקר אקדמיות, מהן רק כ-2 קבוצות שעוסקות בחומרה בצורה מהותית (בטכנולוגיות שנראות כמובילות בעולם), ולמעט יבמ-חיפה שמעורבת בפרויקט העולמי של החישוב הקוונטי ביבמ, בעיקר בפן האלגוריתמיקה והתיאוריה, אין נוכחות תעשייתית של ממש בתחום זה. המשמעות היא שזהו שדה יחסית פתוח, ועל כן יש פה הזדמנות להגדיר בקלות יחסית את המבנה המומלץ לתשתיות לעתיד.

^[1] המיזם הלאומי למערכות נבונות בטוחות - חלק ב' דוחות צוותי המשנה ורשימת משתתפי המיזם | 145

יחד עם זאת, ניתן בכל זאת לראות התחלות של הבעת עניין הן מצד הסקטור הבטחוני, הן מצד חברות גלובליות וצפי למעורבות שוק ההון סיכון בשנים הקרובות, וכן התחלה בסקטור ההזנק. המשמעות היא שהקהילה בישראל מוכנה לגדול בתחום זה, בגישה זהירה.

נראה שניתן לפתח יתרון יחסי ברובדים העיליים של החישוב הקוונטי - ממשקים עם החישוב הקלאסי, מימוש סכמות היברידיות, אלגוריתמים קוונטים, וכו'.

6.2. פערים

מתוך ניתוח המצב הקיים, השוואתו ל-state of the art העולמי, והתבוננת במצב העתידי הרצוי, של הצבת ישראל בחמישיה הראשונה של העוסקים בתחום, עולים מספר פערים בולטים, המשולבים זה בזה. יש להדגיש, אם כן, כי על מנת להשיג את מטרת המיזם, יש להתייחס לכלל הפערים, אשר רק כיסויים במקביל יאפשר את יצירת האקו-סיסטם הנדרש ברמה הלאומית.

הפער הראשון שיצויין כאן הינו הבולט ביותר, והינו **פער ההון האנושי**. כאמור לעיל, זהו משאב הנמצא בחסר באקדמיה וכפועל יוצא מכך גם בתעשייה. יש לפעול לפיתוח כח אדם מיומן ולהגדלת מספר העוסקים בתחום, להכשרתם ולהכוונתם. יצוין כי משך הזמן הנדרש להכשרת כוח האדם בתחום הינו ארוך (עשוי להגיע ל-8 שנים ולעיתים אף יותר), ולכן יש הכרח להתחיל באופן מידי בהרחבת כוח האדם בעל הידע.

פיתוח של טכנולוגיות קוונטים (ובפרט מחשוב קוונטי), מבוסס על צוות של פיסיקאים ומהנדסים בעלי ניסיון בתחום הקוונטים, כאשר חלק גדול מהם בעלי הכשרה ארוכה בתארים מתקדמים בנושאי פיסיקה קוונטית. באקדמיה, כוח האדם מבוסס על מספר מועט של פרופסורים להם ניסיון ארוך שנים בנושאים אלו, וכוח אדם של סטודנטים לתארים מתקדמים המתחלפים לאחר תקופה של מספר שנים. בוגרים אלו יכולים להשתלב בקבוצות לחיישנים קוונטים בתעשיות אם קיימות, אך ברוב המקרים הם משולבים בנושאים ותיקים יותר כגון מכשור רפואי, מצב מוצק, אלגוריתמיקה מתקדמת וכו'. חוסר אמיתי, עם זאת, קיים במהנדסים מומחים בתחום הקוונטים, כמו גם במהנדסים המכירים את התחום היטב, גם אם אינם מומחים בו (Quantum-Familiar Engineers). תוכניות הלימודים בהנדסה לתואר ראשון מכילות הכשרה מצומצמת בלבד בנושאי קוונטים (הן עיונית והן מעשית), ולכן תעשייה הרוצה לפתח מוצרים בתחום הקוונטים צריכה להשקיע בפיתוח ייעודי של כוח האדם ההנדסי שלה.

מומלץ כי ההתמודדות עם פער כח האדם תיערך במספר מישורים: קליטת אנשי סגל אקדמיים חדשים, ומימון הקמת מעבדות מחקר אישיות עבורם; ריענון התוכניות הקיימות ללימוד לתואר ראשון; ריענון תוכניות לימוד לתארים מתקדמים; מלגות למשתלמי בתר-דוקטורט ישראליים בחו"ל; תוכנית משיכת מדענים מחו"ל לארץ; תוכנית מלגות "תור הזהב" לשילוב פורשי תעשייה באקדמיה; תקצוב לעידוד תעשיות להוצאת מהנדסים/מדענים להתמחות ו/או לתארים מתקדמים באקדמיה; וקיום כנסים מקצועיים בתחום.

הפער השני הוא **פער התשתיות הפיסיות**. פער זה מתבטא בחוסר בתשתית הנחוצה, למשל למחקר בחומרה מחשוב קוונטי, דבר שמונע מחקר ברמה גבוהה הנחוץ על מנת להבטיח קיום ידע בישראל, שיאפשר לנו להתקדם במהירות במידה ותהיה פריצת דרך בשימוש במחשוב קוונטי לצרכי התעשייה האזרחית או הביטחון הלאומי. כמו כן, אנו מעריכים כי קיומו של מאמץ פעיל לפיתוח חומרה בישראל יתרום ליצירת האקו-סיסטם הנדרש לשם יצירת פעילות ברבדים העליונים של המחשוב הקוונטי, בהם ייתכן שישראל תוכל לקיים פעילות תעשייתית משמעותית.

התשתיות הפיסיות שנדרשות על מנת לפתח מוצרים קוונטים באיכות גבוהה הן בעלות מאפיינים ייחודיים ונדרשת השקעה ומומחיות על מנת לפתחם לרמה הנדרשת. מחד, פיתוח תשתית זו מבוצע בקבוצות המחקר הרלוונטיות באקדמיה, בה מודגמים ביצועי ה-state of the art. עם זאת, ייעוד האקדמיה הוא להציג הדגמות ולא לפתח מוצרים. לכן, נושאים כמו מזעור, מגבלות הספק, שליטה ובקרה, פעולה בתנאי שטח מטופלים חלקית או לא מטופלים כלל. מאידך, בתעשייה המבוססת, יש חשש מכניסה לפיתוח פיסיקלי בסיכון גבוה וארוך שנים, שפעמים רבות לא מתממשק עם פעילויות החברה.

בהתאמה לכך, תשתית פיסית כזו מתחלקת לשני חלקים עיקריים: תשתית באקדמיה, שתכוון לביצוע מחקרים, ותשתית להקמת מרכז מו"פ יישומי, אשר יכוון בעיקר לשלבים המתקדמים יותר של הפעילות, במטרה לממש בפועל את היכולות התיאורטיות והמוקדמות שיפותחו באקדמיה. תשתית זו תכלול, בין השאר, תשתיות ייצור התקנים קוונטים [FAB משותף לייצור ביטים קוונטים (קיוביטים) מבוססי על מוליכות (superconducting qubits), FAB משותף לייצור NV centers in diamond ומרכזי צבע אחרים (גידול שכבות מאלוחות של יהלומים, שתילת יונים ביהלומים, וליטוגרפיה נקיה לייצור מתקנים), ו-FAB משותף להתקנים

קוונטיים אלקטרוניים], תשתיות אפיון התקנים קוונטים, תשתיות ייצור רכיבים אופטיים מתקדמים (דוגמאות: מהודים בעלי finesse גבוהה, ציפויים אופטיים באיכות גבוהה, זכוכיות יציבות תרמית, micro frequency combs ועוד), ותשתיות זמן ותדר.

הפער השלישי והאחרון הינו **הפער התקציבי לפעילות** כל אחד מנדבכי התכנית (אקדמיה, תעשייה וביטחון). על מנת להפעיל את כח האדם בצורה יעילה במרכזי התשתית הפיסיים, יש צורך במימון שוטף לפעולתו, הן בחלקיו האקדמיים והן בחלקיו התעשייתיים (האזרחיים והביטחוניים כאחד). להערכת קבוצת העבודה, התקציבים הקיימים בגופים – ות"ת, הרשות לחדשנות, ומפא"ת – אינו מספק להפעלה בעצימות הנדרשת, ועל כן יש להקצות תקציב ייעודי נוסף לפעילות זו.

6.3. פוטנציאל לשת"פ בינ"ל

קיימת חשיבות לשת"פ בינ"ל בכל הרבדים - אקדמי, תעשייתי, וביטחוני, לשיפור היכולות הישראליות בתחום. חלון ההזדמנויות לשת"פ בינ"ל כיום הינו ייחודי הן בהיבט תוכניות בינ"ל שמוקמות, קטנות כגדולות, והן בהיבט הצפי להגברת ההגבלות על שיתוף פעולה בתחום זה, עם הבשלתו הטכנולוגית בשנים הקרובות בעקבות ההשקעות הגדולות. על כן, יש לחזק ולמקד את השת"פ הבינ"ל הייעודי בתחום מדע וטכנולוגיות קוונטים, ולסייע למנגנוני השת"פ הקיימים בגופי הביצוע השונים, הן ברמה המקצועית הייעודית לתחום הקוונטים, והן בתקציב.

נדגיש כי כבר כיום קיימים ניצנים של שת"פ בינ"ל. שת"פ ביטחוני בהובלת מפא"ת מתקיים בעיקר עם ארה"ב, ושת"פ אזרחי ראשוני עם האיחוד האירופי מתקיים באמצעות מספר פרויקטים המשולבים בתכנית הדגל האירופית, וכן במספר פרויקטים המשולבים בתכנית QUANTERA. יחד עם זאת, מדובר בשת"פ לא נרחב, אשר אינו ממצה את הפוטנציאל של התחום – בפרט אם לוקחים בחשבון את התוכניות הלאומיות הקיימות ושנבנות, אשר מספקות הזדמנויות לשת"פ דו- או רב-לאומי. גם חברות ענק הביעו בשיחות רקע את רצונן להצטרף להשקעות בארץ כמו בתחומים טכנולוגיים אחרים, אך זאת רק בתנאי שהתשתית תוקם ע"י המדינה, והפעילות בארץ תוכר כבעלת מובילות.

7. מסקנות: מה נדרש

פרק זה ידון בשאלה: מה, להערכת הצוות, נדרש בארץ, כלומר, מהי הרמה הרצויה, היכן נכון לשמור רק על המינימום הקריטי הדרוש למדינה, והיכן ישראל צריכה להיות מובילה עולמית / בחמישיה המובילה.

בהתייחס לתחום ה'מערכות הנבונות', מצאה קבוצת העבודה, בתיאום עם ועדת הבדיקה לנושא הקוונטים של פורום תל"מ, כי תחום מדע וטכנולוגיות קוונטים, לא רק שאיננו מתחרה טכנולוגי ומדעי עם תחומי החישוב ה'קלאסיים', כי אם במקרים רבים הינו ממשיך טבעי שלהם או אף סימביוזי עימם. מסקנת הוועדה וקבוצת העבודה היא כי אם יוקם מיזם חישוב על ו/או ענן ל'מערכות נבונות', אך טבעי לבחון - בעיקר בהיבטי החישוב הקוונטי, אך לא רק בהם - שילוביות ברבדים כאלו ואחרים בין הפעילויות השונות.

כמסקנה כללית, תחום מדע וטכנולוגיות קוונטיים הינו תחום אסטרטגי, שעשוי להוות את אחד התחומים המשפיעים ביותר על המדע, הכלכלה והביטחון בשנים הבאות. דבר זה בא לידי ביטוי בין היתר בתוכניות הלאומיות הגדולות שממומשות וימומשו ברחבי המדינות המובילות בעולם, ובהשקעות הגדולות. גם על-ידי גורמים תעשייתיים משמעותיים בעולם. עם זאת, התחום עדיין בשלבי התפתחות ראשוניים יחסית בעולם, ובהתארגנות נכונה ישראל יכולה לקחת חלק משמעותי במהפכה הקוונטית. על כן, יש לפעול לקידום כלל תתי התחומים (גם אם לא במידה זהה).

מדינת ישראל נבנתה בעבר במידה רבה על תחומי ה-ICT, המידע והסייבר. תחום הקוונטים מהווה את הצעד הבא בהתפתחות תחומים אלו, ועל ישראל להמשיך ולפתח את יתרונה בתחומים אלו, בכיוון מדעי-טכנולוגי-יישומי משמעותי זה. מאידך, חשוב לציין כי התחום הקוונטי איננו פשוט המשך התפתחות של תחומי ה-ICT או תחומים טכנולוגיים אחרים, כי אם שינוי פרדיגמה של ממש, מהרמה הפיסיקלית הבסיסית ועד רמת היישומים והפתרונות האפשריים בטכנולוגיות אלו - שינוי פרדיגמה שבחלק מהמקרים ייצור יכולות חדשות ומשנות-משחק, שלא ניתן כלל לממש בטכנולוגיות 'קלאסיות'. שינוי פרדיגמה שכזה מחייב, על מנת שישראל תהיה רלוונטית, גידול אקו-סיסטם מתאים, מגוון ורחב, וכן צירוף דיסציפלינות ויצירת דיסציפלינות חדשות, שבמצב הנוכחי כמעט או כלל אינן קיימות במידה משמעותית בישראל.

7.1. חישה וחילול אינפורמציה

בתחום החישה הקוונטית קיימת בישראל פעילות תעשייתית משמעותית (במספר קטן של חברות) על פני מעל 10 שנים. פעילות זו מחוברת במידה רבה למחקר האקדמי בתחום החישה הקוונטית, שגם הוא מהווה את אחד מתתי התחומים המובילים באקדמיה בישראל, וישנן מספר דוגמאות להעברת ידע מהאקדמיה לתעשייה בתחום זה. במקרים מסוימים, טכנולוגיה קוונטית כבר משולבת במערכות מבצעיות בתחום הביטחון, לעיתים, כחלק מפתרון בעיות מהבוערות ביותר, המטרידות את מערכת הביטחון. ניתן לומר כי הן הרמה האקדמית, ועוד יותר מכך הרמה התעשייתית בתחום זה בישראל כיום, הן גבוהות מאד אך גם מצמצמות מאד ביחס לפוטנציאל. לכן, בתחום החישה הקוונטית, בטכנולוגיות בהן קיימת כבר פעילות תעשייתית משמעותית, מסקנת קבוצת העבודה היא כי **ניתן לבסס את מעמדה של ישראל כמובילה ומתחרה משמעותית מול העולם**. על מנת לבצע זאת, יש צורך בהרחבה והאצה של הפעילויות הקיימות, באופן משמעותי. יחד עם זאת, התחומים בהם אכן קיימת פעילות תעשייתית משמעותית בישראל הם כמעט אך ורק בתעשייה הביטחונית, בנישות מסוימות מאד של החישה הקוונטית, ויש מקום לפתח גם מדע ותעשיות חדשות בתחום זה. יש ליצור את התנאים להקמת חברות חדשות ולמשיכת תעשיות קיימות לכניסה לתחומים אלו, על מנת להתרחב ולבנות על המציונות הקיימת ליישומים חדשים ונוספים על הקיים.

7.2. תקשורת והעברת אינפורמציה

תחום התקשורת הקוונטית בישראל פעיל ברמה מינימלית, ככלל לא בחזית הידע, כמעט כולו רק ברמה האקדמית, ועם כניסה מינימלית של תעשייה בשנה האחרונה בלבד. זהו תחום בעל חשיבות גדולה, אך יש עוד צורך לקדם אותו בעיקר ברמה המדעית, לפני שיהיה רלוונטי באמת לכניסה משמעותית של תעשיות. יתרון יחסי של המדינה יוכל ככל הנראה להיות מושג רק בתחומי "נישה" – כגון quantum authentication, או שילוב של יכולות קוונטיות, פוסט-קוונטיות וקלאסיות במוצר יחיד. יחד עם זאת, ההשקעה המינימלית הקיימת בתחום זה בארץ לא תוכל לאפשר לישראל לפתח אפילו יתרון נישתי יחסי זה.

על כן, בשל חשיבות התחום, יש מקום להמשיך ולהשקיע בו בישראל, ואף להרחבה משמעותית של העיסוק בו, אך לא במטרה לבסס את ישראל כמובילה עולמית, אלא במודל של **שמירה על פער סביר מהעולם**.

7.3. מחשוב ועיבוד אינפורמציה

תחום החישוב והסימולציות הקוונטיות (שלעתים מקבל התייחסות נפרדת ולעתים נדון בכפיפה אחת), הינו תחום שמחד היכולות והיקף העיסוק בו בארץ, גם ברמה האקדמית הבסיסית ובוודאי בתעשייה, הינם מוגבלים ביותר, ומאידך זהו תחום שצפוי כבר בשנים הקרובות, וביתר שאת בשנים שאחריהן, ליצור אימפקט עצום על מגוון רחב ביותר של תחומים בחיינו, הן בפן האזרחי-כלכלי והן בפן הביטחוני. ניכר עוד, כי ההשקעות הנדרשות על מנת שישראל תהיה מובילה ומתחרה ברמה עולמית בתחום זה, ביחס למצב הקיים כיום בארץ ובעולם, הן עצומות. ישנה גם סבירות גבוהה ביותר שכאשר תחום החישוב הקוונטי יפרוץ בעולם, הוא עלול בהחלט להיות מוגבל לרכש בישראל (כפי שכבר קורה בתחומים מבוססים יותר כגון החישה הקוונטית, או בטכנולוגיות אחרות).

על כן, מסקנת קבוצת העבודה היא כי, בניגוד לתחום החישה הקוונטית ביישומים הקיימים, **ישראל לא תוכל בשנים הקרובות להפוך למובילה עולמית בתחום החישוב והסימולציות הקוונטיות**, אך בה בעת היא איננה יכולה להרשות לעצמה ליצור בתחום זה פער בלתי ניתן לגישור ביחס להתפתחות העולמית. בתחום זה **על ישראל לפתח עצמה לרמה של 'מדינת סף' בחישוב וסימולציות קוונטיות**. המשמעות של "מדינת סף" היא השקעה בתחום זה לא על מנת להיות מובילים עולמיים ברורים ב-10-5 שנים הקרובות, אלא על מנת לשמור על מרחק סביר מהמובילים העולמיים, מרחק שיאפשר סגירת הפער בהשקעה משמעותית למימוש מחשב קוונטי מלא, אם תתקבל החלטה כזו בעתיד. אם לא נשמור על עצמנו כ"מדינת סף" בהקשר זה, הפער הטכנולוגי והיישומי שייפתח אל מול ההתפתחות העולמית המואצת בתחום, עלול שלא לאפשר הדבקתו בעתיד, ועלול לחשוף את ישראל לחולשה משמעותית ביחס לעולם הן בפן הביטחוני והן בפן הכלכלי.

קבוצת העבודה הסיקה עוד, כי **היתרון היחסי שסביר שישראל תוכל לפתח הינו בעיקר תחומי הרבדים העיליים של החישוב והסימולציות הקוונטיות**, דהיינו רובדי התיאוריה, האלגוריתמיקה, תיקון שגיאות קוונטי, אימות, תוכנה וכן בהיבטים מסוימים של החומרה הפריפריאלית של המחשבים הקוונטיים (כלומר לא הליבה הקוונטית עצמה של המעבדים, אלא הטכנולוגיות הקלאסיות של שליטה ובקרה תוך ממשק עם הליבה הקוונטית). יחד עם זאת, על מנת לשמור את הפער הסביר מהעולם כאמור, ולאפשר

גם פיתוח יתרון יחסי ברבדים אלו, וכן פיתוח הון אנושי בתחום זה, נדרשת בכל זאת השקעה לא מבוטלת, מדורגת, בחומרה בתחום זה.

8. המלצות – צרכים ל-5 השנים הקרובות

נקדים ונציין כי קבוצת העבודה בנושא QIS במסגרת תת-וועדת כח מחשוב עבדה בצורה צמודה עם ועדת הבדיקה המקצועית לבחינת הצורך והאפשרות להקמת תשתית למו"פ בתחום מדע וטכנולוגיות קוונטים שהוקמה על ידי פורום תל"מ (להלן – "ועדת תל"מ"). בהתאמה, **כלל ההמלצות של ועדת תל"מ מקובלות על קבוצת העבודה ומומלצות גם על ידה**. ההמלצות להלן מתייחסות בצורה ישירה להמלצות ועדת תל"מ, ומשלימות אותן.

בעוד ועדת תל"מ עוסקת בבניית התשתית הנחוצה וביסוס יכולות אנושיות, טכנולוגיות ומדעיות, קבוצת העבודה זיהתה מספר מצומצם של פעילויות נוספות הנדרשות לקידום התחום לשלבים יישומיים יותר, בראיית המערכות הנבונות. באותם מקומות בהם המלצות ועדת תל"מ רלוונטיות למיזם "מערכות נבונות", מסמך זה מתייחס אליהן ומשלים אותן לפי הצורך (טכנולוגית ותקציבית).

8.1. עיקרי המלצות ועדת תל"מ

בתום העבודה הנרחבת שהתבצעה, מסקנת ועדת תל"מ בנושא זה הינה חד-משמעית: **קיים צורך קריטי בייזום תוכנית לאומית למחקר ופיתוח בתחום מדע וטכנולוגיות קוונטים**. יתרה מכך, **קיומה של תוכנית לאומית כזו הינו חיוני לחוסנה של מדינת ישראל** ויתרום להעמקת המחקר האקדמי, להרחבת הבסיס התעשייתי, ליצירת הזדמנויות כלכליות משמעותיות, ולקידום דרמטי של היכולות הביטחוניות הישראליות. לחילופין, אם לא יבוצעו השקעות משמעותיות ברמת תכנית לאומית, שיביאו את ישראל לרמת המעצמות או המדינות המתקדמות ביותר, מדינת ישראל לא תוכל להמשיך ולהתקדם טכנולוגית, הן כמדינה למימוש צרכיה ויעדיה, הן למחויבותה לאיכות חיי אזרחיה והן לפיתוח משק ותעשייה מתקדמת.

המלצות ועדת תל"מ כוללות מספר מיקודים טכנולוגיים ומדעיים: דגש על תחומי החישה הקוונטית והחישוב הקוונטי, ותמיכה בתת-תחומים נוספים הכוללים תקשורת קוונטית, חומרים קוונטיים ויסודות תורת הקוונטים. תכולות התכנית המומלצת כוללים: מיקוד בהון האנושי וקידומו; רכישת "זמן ענן" לחומרת המעבדים הקוונטיים המובילים כיום והשקעה בתשתיות חומרה לאומיות למחשוב קוונטי, הן באקדמיה והן במרכז מו"פ יישומי ייעודי שיוקם; הרחבה והאצה של תוכניות קיימות בתחום התקשורת הקוונטית ובתחום החישה הקוונטית; עידוד כניסת תעשיות חדשות לתחומים הרלוונטיים; הקמת תשתית רכיבים קוונטים אשר תשרת את התעשייה; הקמת תשתית חומרה משותפת באקדמיה שתשרת מספר תחומים וקבוצות מחקר שונות; והשקעה בביסוס שיתופי פעולה בינלאומיים.

סך כל התקציב הנדרש לצורך מימוש המלצות ועדת תל"מ עומד על 1,452 מש"ח. תקציב זה ימומש על-פני שנת התארגנות ועוד חמש שנות החומש הראשון, כאשר חלק מהמרכיבים נמצאים כבר בתכניות העבודה הקיימות של הגופים השונים, וחלק נוסף כבר הותנע כאמור. ועדת תל"מ מדגישה עוד כי לצורך מימוש הפוטנציאל של התוכנית הלאומית תידרש תמיכה ממשלתית גם מעבר לחמש השנים הקרובות ותקצוב נוסף מעבר לנקוב בדוח.

8.2. ניהול התוכנית

המבנה הניהולי המומלץ בוועדת תל"מ מקובל על קבוצת העבודה. במקביל, אנו מוצאים לנכון לציין כי תחום טכנולוגיות הקוונטים מהווה מרכיב אחד בכלל המלצות המיזם, וצריך להשתלב במבנה הניהולי הכולל. על כן, מנהל תכנית הקוונטים הלאומית יצטרך להיות כפוף למנהל הכללי של המיזם ככל שיהיה, ולהשתלב בצוות הניהולי הכולל. באופן דומה, לפי הגדרת המנגנון הניהולי הכולל של המיזם, יהיה צורך בהתאמת תפקידי והגדרת ועדת ההגוי והוועדה המדעית המייעצת המומלצים ע"י ועדת תל"מ.

יצוין עוד כי לדעת חברי קבוצת העבודה, נכון לעשות שימוש במנגנונים יעילים ומוצלחים, הקיימים ופעילים כבר כיום. על כן, ועל מנת לחסוך בתקורות הניהוליות, אנו ממליצים לעשות שימוש מירבי במנגנוני ההתקשרות הקיימים (ות"ת, הרשות לחדשנות, מפא"ת), ולא להקים מנגנונים נוספים ומקבילים (למעט מקרים מיוחדים).

קבוצת העבודה אינה ממליצה על השקעה נוספת בתחום זה מעבר להמלצות ועדת תל"מ.

8.3. חישוב קוונטי

החישוב הקוונטי (כולל סימולציות קוונטיות) הינו תחום מיקוד של ועדת תל"מ, ונמצא בליבת העיסוק של המיזם כולו ושל קבוצת העבודה בצוות המשנה בפרט. מכיוון שהתחום נמצא בראשיתו בארץ, אנו ממליצים להתמקד בחומש הקרוב בבניית התשתיות על פי המלצות תל"מ, ולא להרחיב את הפעילות מעבר לה. המלצות אלה כוללות רכש "זמן ענן" במחשבים קיימים; ביצוע עבודת מטה ליצירת "שפה משותפת" בין הדיסציפלינות השונות (פיסיקה, מדמ"ח וכו'), והכוונת המחקר ליישומים רלוונטיים בזמן הקצר והבינוני; תשתיות חומרה הן באקדמיה, והן במרכז מו"פ יישומי ייעודי.

צוות המשנה מעריך כי תחום החישוב הקוונטי יוכל להשתלב בפעילויות כח החישוב הנוספות (HPC, ענן) ביתר שאת בשנים הבאות. על כן, אנו ממליצים כי כבר בעת בניית התכנית הנוגעת לכח חישוב, יש לתת את הדעת לשילוב זה, ולבנות את התשתית והמבנה הארגוני הנחוצים לכך.

קבוצת העבודה אינה ממליצה על השקעה נוספת בתחום זה מעבר להמלצות ועדת תל"מ.

8.4. חישה קוונטית

הן ועדת תל"מ והן קבוצת העבודה זיהו את תחום החישה הקוונטית כתחום חוזקה יחסית של המדינה. על כן, גם אנו ממליצים להגדיר את התחום כתחום מיקוד בתכנית. ועדת תל"מ, כמו בשאר התחומים, התמקדה בהקמת התשתית האנושית והטכנו-מדעית לתחום, וביצירת אבני בניין והדגמות ראשוניות. זאת, על ידי הרחבה של פרויקטים מרכזיים קיימים (ברובם בלתי מסווגים ובמיעוטם מסווגים ביטחונית).

קבוצת העבודה זיהתה, מעבר לכך, מספר נושאים בהם אנו ממליצים על הרחבה של המלצות תל"מ. זאת, במטרה להאיץ בנוסף לבניית היכולות, את שילובן של יכולות אלה ביישומים ושימושים בטווח הזמן הקצר והבינוני. בפרט, אנו ממליצים על הרחבת פעילות הפצת הזמן למימוש מערכת הפצה לאומית לזמן ותדר מדוייקים (בהיקף של 30 מש"ח); על שילוב יכולות מדידת הזמן המדויקות (שעונים אטומיים ראשוניים) במערכת ההפצה (ללא תוספת תקציב); על הרחבת פעילות החישה המגנטית הקוונטית למימוש רשת רב-חיישנית – הן חיישנים מגנטיים והן חיישנים נוספים – ושילוב יכולות AI למיצוי המידע שיתקבל מהרשת, לסקרים גאו-פיזיים ולהגנת מתחם (בהיקף של 20 מש"ח); וכן בפעילויות מסווגות במפא"ת (בהיקף של 25 מש"ח).

קבוצת העבודה ממליצה על תוספת תקציבית של 75 מש"ח מעבר להמלצות ועדת תל"מ, להבשלת יכולות החישה ושילובן ביישומים ושימושים.

8.5. תקשורת קוונטית

תחום התקשורת הקוונטית אינו מהווה תחום מיקוד, לא בראיית ועדת תל"מ, ולא בראיית קבוצת העבודה. יחד עם זאת, אין להמעיט בחשיבות הפוטנציאלית של התחום, וחשוב להמשיך לפתח אותו במקביל לשאר התחומים, גם אם בעצימות נמוכה יותר. ועדת תל"מ המליצה על הרחבת התשתית המערכתית בתחום התקשורת הקוונטית, ועל ביצוע תכניות מחקר נוספות, בתקציב מוגבל.

קבוצת העבודה סבורה כי בראיית "קצה לקצה" חשוב להרחיב את הגדרת התחום עוד יותר, על מנת לאפשר את הרשתיות הקוונטיות. בפרט, אנו ממליצים על בניית ממשקים של רשת התקשורת הקוונטית, כך שהמידע המועבר בה לא ייוצר בתוכה ויקלט בתוכה בלבד, אלא תתאפשר גם הזנת מידע חיצוני והוצאתו מהרשת. מתוך הבנה של השלב הראשוני יחסית בו התחום מצוי בארץ, ממליצה קבוצת העבודה להתמקד בחומש הקרוב בהבנת הצורך, הכנה והגדרות, ועד להדגמות ראשוניות. אנו מעריכים מאמץ נוסף זה בהיקף של 10 מש"ח על פני שנות התוכנית.

קבוצת העבודה ממליצה על תוספת תקציבית של 10 מש"ח מעבר להמלצות ועדת תל"מ, להרחבת יכולות הtestbed לממשק למקורות/יעדי מידע חיצוניים.

8.6. הבשלת טכנולוגיות בתעשיה

הנוכחות התעשייתית בתחום QIS עדיין נמוכה בהתחשב בפוטנציאל הכלכלי העצום של התחום. ועדת תל"מ התייחסה לפער זה בהמלצתה על עידוד תעשיות חדשות לתחום וביצירת תשתית רכיבים לתעשייה. קבוצת העבודה מזהה פער נוסף, של הכוונת תעשיות לשימוש בהתקנים הקוונטים גם במערכות קלאסיות – כלומר מערכות "מועצמות קוונטית", ולא רק מערכות

קוונטיות "טהורות". דוגמאות ליישומים כאלה יכולות להיות שילוב יכולות שזירה קוונטית במערכות מכמ לקבלת יכולות חדשות של רזולוציה ומרחק; דימות בפוטונים בודדים במערכות רפואיות לשיפור מהותי ביכולותיהן; ושילוב יכולות חישה בתשתית בניה להוזלת עלות הבניה.

אנו מעריכים עלות של כל יישום מרכזי כזה ב-20-15 מש"ח, וממליצים על בחירת 2-3 נושאים מובילים לפיתוח יישומים מועצמי-קוונטים חדשים.

במקביל לפעילות התעשייתית האמורה, אנו מעריכים ששילוב כזה יפתח גם שאלות מדעיות-עקרוניות יותר, אשר הגוף המתאים להתמודד עימן תהיה האקדמיה (בהכוונת התעשייה), ולא התעשייה עצמה. נדבך זה של מחקרים תומכים מתואר להלן בפרק במחקר האקדמי.

קבוצת העבודה ממליצה על תוספת תקציבית של 50 מש"ח מעבר להמלצות ועדת תל"מ, להכוונת התעשייה לשילוב יכולות קוונטיות בתוך מערכות קלאסיות, ב-2-3 נושאים שיבחרו על ידי הגוף המנהל במנגנון תחרותי.

8.7. מחקר אקדמי מוכוון צורך תעשייתי

המחקר האקדמי מהווה את נדבך הבסיס לפעילויות טכנולוגיות ומדעיות. ועדת תל"מ המליצה על הקצאת חלק מהותי מהתקציב לאקדמיה, המלצה שקבוצת העבודה מצטרפת אליה. אנו לא סבורים שיש מקום להמלצה על הגדלה נוספת של המחקר הבסיסי.

עם זאת, כפי שצויין לעיל, ההרחבה התעשייתית תדרוש תמיכה של האקדמיה במחקרים מוכווני-צורך. מדובר בנדבך מחקרי נוסף, כגון שילוב מספר יכולות טכנולוגיות לפתרון משולב ואחוד, או חיפוש פתרונות לבעיות ספציפיות וממוקדות. אנו ממליצים, אם כן, להרחיב את מנגנוני המחקר הקיימים, ולאפשר להם להתמודד גם עם אתגרים ממוקדי צורך של התעשייה. אנו מעריכים את היקף המחקר הנוסף הנדרש ב-10 מש"ח.

קבוצת העבודה ממליצה על תוספת תקציבית של 10 מש"ח מעבר להמלצות ועדת תל"מ, להכוונת האקדמיה למחקר מוכוון-צורך, במטרה לסייע לתעשייה להתפתח בהתאם להמלצות הוועדה וקבוצת העבודה.

8.8. תשתית ציוד באקדמיה

אין ספק כי על מנת להקים ולבסס את יכולות האקדמיה בתחום ה-QIS בכלל ובחישוב קוונטי בפרט, יש צורך בסיוע להקמת תשתית פיזית מתאימה. תשתית ציוד כזו הינה רובד רוחבי ובסיסי המאפשר את כלל המחקר והפיתוח המדעי והיישומי בתחומים השונים. אנו סבורים כי המלצות ועדת תל"מ מכסות את הצורך במלואו גם לצרכי צוות המשנה לכח חישוב.

קבוצת העבודה אינה ממליצה על השקעה נוספת בתחום זה מעבר להמלצות ועדת תל"מ.

8.9. שת"פ בינ"ל

מדינת ישראל, כמדינה קטנה, אינה יכולה לצפות באופן ריאלי להיות מובילה בכלל החלקים המרכיבים את תחום ה-QIS. השת"פ הבינ"ל הינו חיוני, הן על מנת למנף את היתרונות היחסיים של המדינה, הן על מנת ללמוד על ההישגים במקומות אחרים מכלי ראשון ולהיעזר בהם, והן כצעד מסייע ליצוא עתידי. אנו סבורים כי המלצות ועדת תל"מ בתחום הינן מספקות.

קבוצת העבודה אינה ממליצה על השקעה נוספת בתחום זה מעבר להמלצות ועדת תל"מ.

8.10. פיתוח הון אנושי

ההון האנושי מהווה את אחד הפערים העיקריים להמשך פיתוח התחום, אם לא העיקרי בהם. אבחנה זו נכונה הן בארץ והן בעולם כולו. משך הזמן הארוך (יחסית לתחומים מדעיים וטכנולוגיים אחרים) הנדרש להכשרת כח אדם מיומן בתחום דורש למעשה התחלה מיידית של עבודה לכיסוי הפער, וכן חיפוש אחר פתרונות יצירתיים – כגון הכשרת מהנדסים מהתעשייה להבנת יסודות התורה הקוונטים והשימוש בה, גם אם לא יהפכו למומחים בתחום (כלומר, לא בהכרח "מהנדסים קוונטיים" בלבד, אלא גם "מהנדסים יודעי-קוונטים". אנו סבורים כי המלצות ועדת תל"מ נכונות, ושאימוצן יאפשר את כיסוי הפער.

קבוצת העבודה אינה ממליצה על השקעה נוספת בתחום זה מעבר להמלצות ועדת תל"מ.

^[1] המיזם הלאומי למערכות נבונות בטוחות - חלק ב' דוחות צוותי המשנה ורשימת משתתפי המיזם | 151

8.11. במבט קדימה – מעבר ל-5 השנים הקרובות

תכנית לאומית לתחום הקוונטים בכלל, ול-QIS בפרט, אינה יכולה להיות מוגבלת לחמש שנים בלבד. הדבר נובע הן ממנגנוני ההכשרה הארוכים והן מההליכי המו"פ הארוכים יחסית לתחומים טכנו-מדעיים אחרים. בנוסף לכך, ההשלכות של טכנולוגיית-על פורצת דרך שכזו אינן מוגבלות – ולא יכולות להיות מוגבלות – לחמש שנים בלבד. אי לכך, אנו מוצאים לנכון לציין כבר כעת, כי קבוצת העבודה, מצטרפת להערכת ועדת תל"מ לפיה יהיה צורך בהמשך תמיכה ממשלתית ותקציב נוסף גם מעבר פרק זמן זה. אנו מעריכים שבפרק זמן זה תחול הבשלה משמעותית בתחום, ועל כן בפרק הזמן הנוסף, הפן התעשייתי והיישומי יהיה דומיננטי הרבה יותר בהשוואה להמלצות לפרק הזמן הראשון, בהן הפן האקדמי מודגש יותר.

8.12. משמעות אי מימוש התכנית

המדע והטכנולוגיות הקוונטיים מהווים גורם בעל השפעה רוחבית ומרחיקת לכת על מגוון תחומים טכנולוגיים ומדעיים מתקדמים, כאלה שיניעו את העולם בשנים ובעשורים הקרובים. ברבים מתחומים אלה מדובר בלא פחות ממהפכה, אשר תשנה מהותית את הידוע לנו על מגבלות המדע והטכנולוגיה. אחד מתחומים אלה הוא ה-ICT, ובתוכו תחומי ה"מערכות הנבונות", כולל יכולות הבינה המלאכותית, הבינה הרשתית, הלמידה העמוקה ועוד.

ההשקעות שנעשו עד כה על ידי גורמי הכוונת המו"פ בארץ (בעיקר ות"ת, מכא"ת והרשות לחדשנות) הצליחו למצב את ישראל בעמדת זינוק טובה בחלק מהתחומים, ובעמדה שמאפשרת עדיין את הדבקת הפער מהעולם בתחומים אחרים. אך השקעות אלה ממצות למעשה את יכולות גופים אלה להמשיך ולקדם את התחום ממשאביהן; במקביל, הגידול העצום בהשקעות בעולם מזניק את התחום במהירות עצומה קדימה. אם מדינת ישראל תמשיך בקצב ההתקדמות הקיים – מה שבהכרח יקרה ללא תכנית לאומית ממוקדת – **הפער מחזית היכולות בעולם ילך ויגדל, עד למצב בו לא נוכל להדביקו עוד**. מנקודת המבט של וועדת כח המחשוב, הפער העיקרי הוא ביכולות העיבוד הקוונטי. כלל מרכיבי התכנית שמכוונת למיצוב ישראל כמדינת סף לא יוכלו להתממש ללא אישור התכנית. אלו כוללים את **ההון האנושי שילך ויתדלדל** (הן בשל אי-הכשרת אנשי חדשים, והן בשל בריחת מוחות שתהיה בלתי נמנעת לאור ההתקדמות היחסית בעולם); **את אי מימוש מרכיבי החומרה שנועדו למצב את ישראל כמדינת סף** – הן באקדמיה והן במרכז המו"פ היישומי; **את הניוון המחקרי** שיגזר על החוקרים שישארו בארץ; ואת **איבוד ההזדמנות להתייצב כמדינה מובילה**, גם אם בתחומים מסוימים בלבד.

מימוש היכולות הפוטנציאליות של התחום והתועלות שבצידן, והתייצבות בחזית המדע והטכנולוגיה העולמית, דורש, אם כך, מאמץ מרוכז, ברמה של תכנית לאומית. ללא תכנית כזו, מדינת ישראל, בפועל, **תעצר טכנולוגית כבר בשנים הקרובות**, ותהיה כפופה לעליונות של מדינות ושחקנים 'זרים' אחרים, שיאפילו עליה בטכנולוגיות עוצמתיות וידחקו אותה למצב/ים קשים בהיבטי ביטחון, כלכלה, בריאות, חינוך, משק ותעשייה. יתרה מזאת, מצב של פער כזה בתחומי המחקר והטכנולוגיה הקוונטיים יעבירו רבים מבין טובי החוקרים והמפתחים הישראלים למקומות אחרים, שהשכילו לקדם ולפתח את התחום. **מדינת-ישראל איננה יכולה להרשות לעצמה להיות במצב שכזה**.

8.13. סיכום הפרק

פרק זה דן בהמלצות קבוצת העבודה, הן בפן המהותי-טכנומדעי, והן בפן התקציבי. אנו מצטרפים לכלל המלצות ועדת תל"מ, אשר העבודה בה נעשתה בצורה צמודה עם העבודה בקבוצת העבודה, ובתיאום מלא. במקביל, מצאנו לנכון, בראיה של כיוון למערכות בשלות יותר, להמליץ על תוספות מעבר להמלצות ועדת תל"מ. המלצות אלה כוללות פעולות להבשלת יכולות חישה ושילובן ביישומים ושימושים, הרחבת של ה-testbed של התקשורת הקוונטית על מנת לבנות אליו ממשקים שיאפשרו יכולות קצה לקצה, ועל הכוונת התעשייה והאקדמיה לשיתוף פעולה לשם שילוב יכולות קוונטיות במערכות קלאסיות. **סך התקציב הנוסף שקבוצת העבודה ממליצה עליו, מעבר להמלצות ועדת תל"מ אשר מהוות בסיס ליכולות, מסתכמות בסכום של 145 משר"ח על פני חמש שנות התוכנית הראשונות**.

9. סיכום

מסמך זה הינו ריכוז וסיכום עבודת מטה של קבוצת עבודה 3 (יישומים קוונטיים וביצועים, שת"פ חברות בינלאומיות) שפעלה בוועדת "כח מחשוב" של מיזם "מערכות נבונות". המסמך ממליץ על כיווני הפעולה המרכזיים – הנחוצים והמועילים במיוחד למדינת ישראל – אשר ראוי בעינינו לקדםם במסגרת המיזם, באקדמיה, בתעשייה, במערכות הממשל ובמערכת הבטחון. זאת, על מנת לעמוד במטרת המיזם – הצבת מדינת ישראל בחמישייה המובילה בעולם בתחום זה.

קבוצת העבודה עבדה בצורה צמודה עם ועדת הבדיקה המקצועית לבחינת הצורך והאפשרות להקמת תשתית למו"פ בתחום מדע וטכנולוגיות קוונטים שהוקמה על ידי פורום תל"מ. בהתאמה, כלל ההמלצות של ועדת תל"מ מקובלות על קבוצת העבודה ומומלצות גם על ידה.

קבוצת העבודה מצאה לנכון להמליץ על הרחבה מסוימת ומדודה של ההשקעות המומלצות ע"י ועדת תל"מ, במטרה למקד ולאפשר מימוש של יכולות ה-QIS בתחום המערכות הנבונות, ובפרט להבשלת יכולות החישה ושילובן ביישומים ושימושים, להכוונת התעשייה לשילוב יכולות קוונטיות בתוך מערכות קלאסיות, להכוונת האקדמיה למחקר מוכוון-צורך, במטרה לסייע לתעשייה להתפתח בהתאם להמלצות הוועדה וקבוצת העבודה.

אנו מדגישים כי פיתוח היכולות בתחום פורץ דרך זה לא יכול להסתיים בתום חמש שנות התכנית. מסמך זה, ומסמך ועדת תל"מ, מתווים אסטרטגיה לתוכנית רחבה וכוללת שיש להמשיך במימושה מעבר לשלבים הראשונים המפורטים בתוכנית. אסטרטגיה זו מיועדת לממש את הפוטנציאל של התחום לחיזוק החוסן הלאומי, הביטחוני, האקדמי, והעסקי בהווה אולם מימוש מלוא הפוטנציאל שבה מחייב להמשיך את העיסוק מעבר לאופק הזמן של התוכנית הראשונה, ולהקצות משאבים נוספים בהמשך הדרך.

בנקודת הזמן הנוכחית מדינת ישראל נמצאת בפרשת דרכים בכל הנוגע למדע וטכנולוגיות קוונטים. עליה לבחור בין הישארות במתכונת המצומצמת הקיימת כיום, לבין קידום והובלה של תחומים פורצי דרך החיוניים להתפתחותה. צוות זה מצטרף להמלצה על הקמת תוכנית לאומית למדע וטכנולוגיות קוונטים, ואף על הרחבתה המדודה, במסגרת שפורטה במסמך זה. משמעות ההמלצה הינה הצטרפות למאמץ עולמי הנמצא עדיין בראשיתו, שיבוא לידי ביטוי במגוון רחב של תחומים יישומים חיוניים, ושלמדינת ישראל יש את הפוטנציאל להצליח בו ואין את הפריווילגיה שלא לעשות כן.

6. דוח צוות המשנה של המיזם הלאומי

למערכות נבונות

בנושא מרכזי מחקר אקדמיים

בראשות פרופ' דן בלומברג

רקע

הצוות התכנס 4 פעמים וכלל מספר חברים שהשתתפו בצוותי משנה מקבילים, בנוסף התקיימו מספר פגישות בפורום מצומצם ודיאלוג ישיר עם יו"רים ו/או מזכירי צוותי משנה מקבילים (רפואה, פינטק, תחבורה, בטחון, IOT רובוטיקה) ומפגשים ב-Nvidia ובמכון וייצמן.

המסמך בנוי מתקציר מנהלים אשר מציג את היתרונות והאתגרים היחסיים של מדינת ישראל, העקרונות למשילות תפעול ומדידת מרכזי המחקר והערכת עלויות ראשונית. בנוסף צירפנו נספחים לפי הפירוט הבא:

- נספח א' - פירוט הערכת עלות בתר"ש לתפעול מרכזי המחקר בראיה הוליסטית של כלל האקדמיה בישראל
- נספח ב' - נושאים פוטנציאליים למחקר
- נספח ג' - נייר עמדה להאצת המחקר בנושא AI שנכתב בהובלת אסף עראקי ששימש כחבר צוות
- נספח ד' - תמצית הפגישות שנערכו

תקציר מנהלים

הצוות עסק בהגדרת הייעוד של מרכזי המחקר האקדמיים בנושא AI, יעדים להשגה בהיבט עומק והיקף המחקר והחוקרים, התשתיות הנדרשות בהיבטי כ"א וכח המחשוב הנדרשות להפעלתו ומשמעותן הכלכלית, מנגנונים שונים להתוויה ובקרה של המדיניות.

הצוות שם לעצמו יעד להגדיל משמעותית פירמידת העוסקים בתחום מהבסיס של סטודנטים לתואר ראשון ועד לחוקרים המובילים, בד בבד עם איגום ומיקוד הנושאים לקידום באקדמיה בנושאים שעליהם אמונה האקדמיה (מחקר פורץ דרך ארוך טווח והכשרת הון אנושי הן למחקר והן לעבודה) בהם קיימים יתרונות מהותיים לאקדמיה על פני השוק התעשייתי.

הצוות התייחס למרכזי המחקר כמכלול המורכב מ-4-6 מרכזי מחקר אוניברסיטאיים אשר משתפים את המכללות. כיום יש בישראל פעילות ליבה נרחבת רק בחלק מן המוסדות ולכן בדומה לסייבר המרכזים יוקמו באופן מדורג באוניברסיטאות כאשר לכל מרכז יהיה את האופי שממנף את החוזקות הקיימות של האוניברסיטה.

אוניברסיטה שרואה את עצמה כבית למרכז מחקר בנושא AI תגיש, לוועדת היגוי לאומית המוגדרת להלן, תוכנית תר"שית להבנות המרכז ואשר תכלול את יעדי המחקר, פיתוח החוקרים וקליטת חוקרים וסטודנטים ואת הערכת תהליך בניית התשתיות.

עיקרון נוסף שהוגדר הינו שתהייה יכולת לקדם עצמאית את המרכזים, ככל שניתן, ללא תלות בתוצרי צוותי משנה אחרים מחד גיסא ותוך מינוף המלצותיהם מאידך גיסא. לדוגמא, לא הוגדר במסגרת הצוות מהו המנגנון הנכון להשגת כח המחשוב הנדרש לטובת ההפעלה השוטפת של המרכזים, אך בוצעה הערכת לעלות כח המחשוב עבור כל סטודנט שעוסק ב-AI. תקציב זה יאפשר רכישת כח מחשוב מתשתיות מקומיות ו/או תשתיות ענן לאומיות (כפי שהומלץ בצוות המשנה בנושא כח המחשוב) ו/או רכישת כח מחשוב מעננים גלובאליים דוגמת AWS ו-Azure.

ה-Data המהווה תשתית קריטית למחקר יונגש למרכזי המחקר בממשק שיוגדר בין המרכזים האקדמיים לבין "רשות המידע" באופן פרטני לכל מרכז ומרכז בהתאם לייעודו. "הקמת רשות למידע" הומלצה בצוות המשנה של כח המחשוב ואנו מצטרפים להמלצה זו.

ניתוח יתרונות יחסיים במדינת ישראל

- כח אדם אקדמי ברמה גבוהה, לצד דרישה גוברת והולכת לאנשי AI-ו DS מצד התעשייה
- תרבות המעודדת קליטת טכנולוגיות חדשות
- יתרון "הקוטן" של מדינת ישראל והיכולת לסנכרן ולרכז מאמץ
- ריכוזיות בשליטה במאגרי מידע ממשלתיים דוגמת נתונים רפואיים ופיננסיים (עשוי להיות גם חיסרון לאור הכפיפות ורגולציה כבדה וחקיקה ממשלתית)
- התפתחות שוק ה-IOT והדיגיטציה בישראל היוצרת Big Data
- רקע מוצלח בהקמת מיזמים לאומיים דוגמת הסייבר
- הטרוגניות אקדמית במיקוד של האוניברסיטאות השונות ובעוצמת הקשר הקיים המחקרי והמסחרי עם התעשייה באוניברסיטאות השונות
- צה"ל וגופי הבטחון בעלי אינטרס לקדם את התחום ולשת"פ עם האקדמיה ובנוסף ובעלי אמצעים ונגישות ל-Big Data בטחוני

אתגרים יחסיים

- תעשייה מתפתחת ומתגמלת (אתגר לאקדמיה בגיוס הן אנושי ובשימור תלמידי מחקר כעתודה לסגל אקדמי. ברמת מדינה יתרון)
- חברות ענק המאפשרות ביצוע מחקרי עומק לא פחות ולפעמים יותר מהאקדמיה (אתגר לאקדמיה. ברמת מדינה יתרון). האקדמיה משתפת את תוצרתה באמצעות פרסמים מדעיים שפיטים ואילו התעשייה נוטה לשמור ידע לעצמה.
- פרטיות ואבטחת המידע
- פער בתשתיות לניסויים והדגמות שיאפשרו הנבטה והתפתחות של הסטארטאפים וחיבורים רב תחומיים.
- נכון לשנת 2017 (על פי דוח מוסד שמואל נאמן⁴¹) ישראל מדורגת במקום ה-18 בעולם בשיעור הפרסומים לנפש בתחום ה-AI. במקום הראשון מדורגת סינגפור. מדינת ישראל חייבת להעלות את מספר הפרסומים בתחום כדי לשמר את מקומה כמדינה מובילה בתחום זה בעולם האקדמיה. אחד המכשולים הוא מספר תלמידי המחקר הזרים הנמוך בישראל ומספר הפוסט-דוקטורנטים הנמוך.

המלצות הצוות

הקמת מרכזי המחקר שיאפשרו/יהיו /יקדמו:

- מחקרים פורצי דרך, בתחומים אשר יציבו את ישראל בחזית המחקר העולמית תוך מתן מענה לחסמים המרכזיים ביצירת האקו-סיסטם בתחום המערכות התבוניות.
- בהתאם המדדים יהיו בעיקר:
 - מדדים אקדמיים של פרסומים מדעיים בכתבי העת המובילים. יעדים כמותיים יוגדרו בתוכניות הפרטניות של כל מרכז ומרכז.
 - מדדי אימפקט המודדים את השפעת המחקר על התעשייה הישראלית והעולמית.

ראש חץ להכשרת כ"א למחקר, ולתעשייה המדדים להכשרה יהיו מענה לצרכי התעשייה במספר הנכפשות הנוספות לתעשייה עתירת הידע (תוך הבחנה בין סטודנטים לתואר ראשון לסטודנטים לתארים מתקדמים), שיתוף פעולה עם גורמים מחוץ לאוניברסיטאות לרבות מכללות, וחברות קטנות ומתפתחות.

- מקום ניטרלי מבוסס עקרונות של Open IP או מנגנון IP גנרי שמסדיר את היחסים בין התעשייה לאקדמיה וישבור את

⁴¹ <https://www.neaman.org.il/Files/Artificial-Intelligence-Data-Science-and-Smart-Robotics.20181204151647.206.pdf>

הדיכוטומיה בין התעשייה לאקדמיה ויעודד שיח ושיתוף פעולה בין חוקרים, סטודנטים, סטארט-אפים ותעשיות בדגש הנגשת הנתונים שיאספו במרכזי המידע הלאומיים והמקומיים.

3. מודלי עבודה היברידיים לחוקרים שיאפשרו לשלב בין מחקר בתעשייה למחקר באקדמיה ובנוסף יצירת מודלים שיאפשרו לאנשי כוחות הבטחון להשתלב במחקרים האקדמיים ולאנשי אקדמיה להשתלב במחקרים רלוונטים לביטחון.

4. מודל העבודה המתבסס ככל שניתן על Open IP ו- Open Code או Agreed IP על פי התווית וועדת ההיגוי הלאומית.

5. השקעה בפוסט-דוקטורנטים (ישראלים וזרים) כמנוף להגברת התפוקה האקדמית המדעית.

הקמת מרכזים לניסויים והדגמות שיאפשרו

1. מעבר ממחקר אקדמי להנבטת יכולות והתפתחות של הסטרטאפים וחיבורים רב תחומיים.

2. עידוד ביקוש והמודעות לפוטנציאל של הבינה המלאכותית, אשר בתורם יביאו ליצירת היצע לשוק וביקוש לתחום (לרבות הכשרות כל בוגר של מערכת ההשכלה הגבוהה בקורס בסיס בבינה מלאכותית מתוך מטרה לגדל דור שידע "לחוש" את הנתונים ומה שניתן להסיק מהם).

מדדי הצלחה

מצוינות אקדמית, היקף שת"פ עם תעשיות גדולות וקטנות, פוסט-דוק מחו"ל, הטרוגניות של המחלקות מהן מגיעים הסטודנטים.

קליטת חוקרים וסטודנטים היברידיים המשלבים בין אקדמיה לתעשייה.

יעדים פרטניים לנ"ל יוגשו ע"י וועדות ההיגוי האוניברסיטאות לאישור וועדת ההיגוי הלאומית.

הכשרה רחבת היקף לתחום ה-AI

מרכזי המחקר יהוו ראש חץ בהכשרת כ"א במחלקות השונות לתחומים הבאים:

- 0 Data Scientist – פיתוח אלגוריתמי מיצוי מידע ו-AI (תואר שני ומעלה)
- 0 Data Analyst – זיקוק והנגשת מידע (תואר ראשון במספר מסלולים)
- 0 Data Engineer – הנדסת וארכיטקטורת DB (תואר ראשון במספר מסלולים)
- 0 Data User – כל משתמש פוטנציאלי עתידי (קורסי ל-Mini AI חובה בתואר ראשון ומעלה)

ההכשרות יקחו בחשבון את צרכי התעשייה והביטחון (כדוגמת הכשרה אקדמית תפקידני הדאטה בתהליך שמתחשב באקרדיטציה של הכשרותיהם) – הנ"ל ייעשה ע"י עידוד חוקרים ואנשי תעשייה לעבוד באופן דואלי, בנוסף, ההכשרות ייעשו באופן מותאם לסטודנטים מתחומי דעת שונים (פסיכולוגיה, רפואה, כלכלה, אמנות ועוד).

משילות

מרכזי המחקר יוכפפו לכל הנהלים המקובלים באוניברסיטאות האם לגבי מרכזי מחקר. לכל מרכז תהיה ועדת היגוי אשר תורכב מחמישה עד שבעה חברים ובהם נציג תעשייה⁴², נציג ציבור שיכול להיות חבר סגל באוניברסיטה אחרת או חוקר בתעשיות בתחום (רצוי כזה שפרש מן התעשייה כדי למנוע מצבים של ניגודי עניין). יו"ר מרכז המחקר מטעם האוניברסיטה יהיה חבר בוועדת ההיגוי ונציג מתאים של הנהלת האוניברסיטה ברמת דיקאן ומעלה.

תפקיד ועדת ההיגוי יהיה:

3. להתוות דרך ולדאוג לפעילות השוטפת של מרכז המחקר.

4. לשלוח הצעות מחקר לשיפוט עמיתים חיצוני.

5. לדרג את הצעות המחקר שתוגשנה בהתאם לשיפוט והמלצה על הקצאת כספי המחקר.

6. להקים ועדה שתבחן את התקדמות המחקרים על פי אמות מידה מדעיות (קרי פרסומים, תלמידי מחקר וכדומה). ועדה זו יכולה להיות ועדת ההיגוי אך אינה חייבת להיות אותה ועדה.

7. לקיים סמינרים בתחום ולהזמין את חברי מרכזי המחקר של שאר האוניברסיטאות וחוקרים רלוונטיים מן התעשייה.

8. לשלוח נציג לוועדת ההיגוי הלאומית.

החלטות ועדת ההיגוי תתקבלנה ברב אך הקצאות למחקרים יאושרו בוועדת ההיגוי הלאומית המתוארת להלן.

ועדת היגוי לאומית ⁴³

ועדת היגוי לאומית תורכב משבעה עד 11 חברים. חברים יהיו נציגי כל ועדות ההיגוי של מרכזי המחקר (נציג לכל מרכז) שני נציגי ציבור מן התעשייה או הממשלה ויו"ר מטעם הממשלה.

תפקיד ועדת ההיגוי הלאומית:

1. להקצות את התקציב לכל מרכז.
2. לאשר (או לא) את המלצות מרכזי המחקר למימון מחקרים. במידה ואין אישור חובה לתת מענה מנומק תוך 30 יום מקבלת ההמלצות ממרכזי המחקר.
3. תתווה הסכמי IP אשר יאפשרו שת"פ יעיל בין התעשייה לבין האקדמיה.
4. בניית מודל עבודה היברדי לחוקר שישלב בין מחקר באקדמיה למחקר בתעשייה.
5. ללוות את בניית מרכזי המחקר ולהצביע על חוזקות, חולשות וייחודיות של כל מרכז.
6. לבנות מנגנונים אשר יתמרצו שיתוף ידע בין המרכזים.
7. הקצאת משאבי חישוב לפרוייקטי מחקר שונים⁴⁴.
8. להביא לידיעת כל מרכזי המחקר זמינות בסיסי נתונים ותשתיות מחקר.
9. לסנכרן עם פעילות מרכזי המחקר עם שאר התשתיות וגופי ההפעלה של מיזם ה-AI.

תשתיות

תשתית מחשוב הינה מהותית ומהווה תנאי הכרחי ליכולת לקיים מחקר מתקדם בנושאי AI. תשתיות המחשוב יאפשרו את מימוש המחקרים וההכשרות ובנוסף יקחו בחשבון את הנדרש עבור קהילת הסטארט-אפים. לטובת הנושא נדרש ידע מתקדם אשר כיום לא באמת קיים בארץ (יש אנשים מסויימים העוסקים בנושא, אך לא במסה קריטית). מדובר ביותר מאשר "סתם" לקנות כח חישוב עבור החוקרים. בהתאם, נדרש גוף אשר ידע לתכנן את התשתיות והפלטפורמות, לעדכן אותן, ולבנות אותן בצורה שתאפשר עבודה קלה (תשתיות אגירה, תקשורת וכו'), ואשר יוכלו להיות פתוחות ומעודכנות. דבר זה דורש השקעה שוטפת לא רק ב"ברזלים" אלא גם בכח האדם המתכנן והמפעיל.

צוות המשנה בנושא כח המחשוב המליץ להקים מרכז חישוב ואנו תומכים בכך. מרכז כזה יכול להיות חלק ממרכזי המחקר ולעסוק בבתכנות מקבילי, מחקר פלטפורמות חישוב שונות והתאמתן לבעיות ב-AI ועוד. ישנה סוגיה של המיקום, אבל בעולם המקושר של היום בהחלט ייתכן שניתן יהיה למצוא פתרונות (ביזור כח החישוב בין כמה מקומות עם תכנון מרכזי כדוגמא אחת).

המשמעויות לכח האדם שנדרש לטובת הנ"ל מוצגות בדוח צוות כח המחשוב ואנו תומכים בהמלוצתיו. גם המבנה המוצע מופיע בהמלצות, בסיס תקציב המרכז יכלול את עלויות השימוש בכח המחשוב לטובת שמירה על עצמאות המרכז.

^[1] 43 קיימת תוכנית של הות"ת לקידום מדעי הנתונים אשר מימון לפורום היגוי למרכזים אקדמיים במדעי הנתונים. AI הינו ליבת מדעי הנתונים ולכן יבחן שילוב/איחוד כחות עם הפורום הנ"ל

^[2] 44 סנכרון/הסתמכות על המלצות צוות המשנה לנושא כח המחשוב

^[1] 42 אחת התלונות כנגד האקדמיה זה שהיא לא מבשילה את המחקר מספיק כדי שתעשייה תאמץ אותו, במידה שהיתה רצויה לתעשייה. אמנם זהו לא תפקידה העיקרי של האקדמיה, אבל נוכחות תעשייתית בוועדות ההיגוי יכולה לסייע בעניין הזה.

משמעויות ועלויות

הערכת עלות להקמת מכלול מרכזי המחקר

שנה ראשונה : כ-275 מיליון ש"ח אשר כוללים את סלי הקליטה לחוקרים

שנים שניה עד שנה חמישית: 360, 400, 450, 500 מיליון ש"ח

רצ"ב בנספח א' – פירוט העלויות המוערכות למרכזי המחקר בתחומי ה-AI.

העלויות מניחות:

- הגדלת מספר הסטודנטים לתואר שני/שלישי ופוסט דוק ב- 100-200% סוף התר"ש כך שיהוו 10%-8 מכלל הסטודנטים לתואר ראשון בתחומי ההיי-טק

- התעצמות לאורך השנים: 50% מהיעד בשנה הראשונה, 70% בשניה, 80%, 90% ו-100% בשנה החמישית.

- יצירת מודל עבודה היברידי לחוקר המשלב בין אקדמיה לתעשייה. בהתאם, הגידול במספר החוקרים באקדמיה צפוי להיות בעיקרו מבוסס על חוקרים שיעבדו במודל ההיברידי.

- יצירת מסלולים שיאפשרו תארים מתקדמים לסטודנטים מפקולטות שאינן מפקולטות הליבה של הבינה המלאכותית וקורסים משותפים בין פקולטות ואולי אף בין מוסדות להגברת שיתופי הפעולה.

- הקצאת תקציב למרכזים רכישת "כח מחשוב" מקומי/על ענן (לא מחשוב קוונטי).

- יעד לסוף התר"ש שכ-10% מכלל הסטנודטים במקצועות ההי-טק ימשיכו לתארים מתקדמים.

- יעד לסוף התר"ש שעל כל סטודנט ההי-טק שהמשיך לתואר מתקדם יהיה סטודנט שצמח בפקולטה שאינה מפקולטות הליבה של מקצועות ההיי-טק.

הערה : גודלם של המרכזים שיוקמו לא יהיה זהה ומיקודם ישתנה ממוסד למוסד ותקציבים יהיה בהתאם.

מקורות מימון למרכז : תקציב ממשלתי, תעשייה, ומענקים במנגנוני Matching.

מקורות המימון ועקרונות המחקר

א. יעודדו הגעה ל-"מסה קריטית" של חוקרים בכל מרכז.

ב. ישמרו על עקרונות המצוינות המדעית והתחרתיות על תקציבי המחקר

ג. יעודדו העברת ידע ו-DATA מהמרכזים לשותפים בתעשיות ובאקדמיות ובממשל, ולהיפך. (מתוך מטרה שיהיה אינטרס למי שמחזיק ב-DATA לשתף אותו במקום לשמר אותו מתוך רצון למונופול).

אופן התפתחות המרכזים על ציר הזמן ושת"פ עם התעשייה

ההנחה היא שאקדמיה יודעת להכשיר חוקרים טובים ורחבי אופקים. בנוסף, היא זאת שאמונה על הכשרת מרבית כח האדם הנדרש לתעשייה. יחד עם זאת, התעשייה יודעת לדייק את הצרכים שלה בעיקר במשימות מוגדרות היטב ובנוסף לא פעם התעשייה יכולה לגייס את המשאבים לממש ולתקף את הטכנולוגיות באופן יעיל יותר.

ההמלצה הינה לגייס חוקרים כשרוניים אשר יהוו את ליבת מרכז המחקר ואשר יבנו במודולים דומים לאלו שנבנו באוניברסיטאות מובילות בעולם (Berkeley, CMU, Stanford) ואשר יתאפשר להם לעבוד במודל היברידי – תעשייה ואקדמיה אשר יאפשר התקדמות גם במסלול האקדמי הדורש התמסרות לפרסום בשנים הראשונות.

נבהיר שהמרכזים באוניברסיטאות השונות יהיו בגדלים שונים ומיקוד שונה.

פאזה א'45 - (מספר חודשים עד שנה)

כל אוניברסיטה מחליטה על מחקר ראשון וצוות מוביל (פרופסור וצוות החוקרים) –

o יהיה צוות שאחראי על הבאה וארגון ה-Data הנדרש ועל התשתיות הנדרשות

o מחקר זה נדרש לשאת תוצרים תוך 3-5 שנים ועם פוטנציאל להוביל Use Cases יישומי

o נדרש הגדרת מוביל ייעודי (Champion) שיהיה אחראי לפלטפורמות הנדרשות ולמתודולוגיות העבודה שהמחקר יכלול

פאזה ב'46 (שנה עד 3 שנים)

פעילות:

o הערכת מצב עד כה (נתונים/מחקר/נגישות/השפעה) והגדרת יעדים לשלוב הבא

o הגדרת יעדים לכמות/איכות הפרסום

o הרחבת תחומי המחקר ושכפול המודל של פאזה א' (פרופסורים וצוותי מחקר) כאשר לפחות אחד מהם מתקיים כעם גורמים חיצוניים (צה"ל, בתי חולים, תעשיות גדולות)

o הרחבת כישורי החוקרים ושילוב חוקרים מתחומי ידע שונים (פסיכולוגיה, רפואה, אמנות, כלכלה)

o תגבור התשתיות הנדרשות (Data, פלטפורמות תוכנה/חומרה, כישורי חוקרים וכו')

יעד: לאחר 3 שנים יהיו מספר פרופסורים וצוותי מחקר שיעבדו במחקר עם לפחות שת"פ אחד משמעותי מחוץ למרכז

מרכזי הדגמות וניסויים

חממות מעבדות שדות ניסויים להכשרה ותיקוף קונספטים שיקודמו ע"י הסטודנטים וחברות קטנות ויהוו חוט מקשר בין האקדמיה לתעשיות הקטנות.

הערכת עלויות הקמת מרכזי ההדגמות הינן פונקציה של תחומי המחקר אשר יבחרו.

במסגרת הגשת מסמכי ההקמה של מרכזי המחקר לוועדת ההיגוי הלאומית יהיה פרק לטובת המשמעויות הנדרשות לטובת תיקוף והדגמת היכולות שיפותחו במרכז המחקר והוועדה הלאומית תקצה את המשאבים הנדרשים מתוך ראייה הוליסטית של מרכזי המחקר השונים והתעשיות הקטנות והגדולות.

למען הסר ספק, אין כוונה להוסיף מרכזי מחקר באוניברסיטאות בהן כבר הוקם מרכז, אלא לעבות ולהרחיב אותו ובשביל זה יידרש תקציב לסלי קליטה, מלגות לסטודנטים ותקציב לכח מחשוב. בהתאם ניתן יהיה להעביר מסמכי "הרחבה" עבור מרכזים קיימים.

^[1] 45 התקיימה כבר בפועל במספר אוניברסיטאות

^[2] 46 גם היא התקיימה כבר בפועל במספר אוניברסיטאות

נספח א' - הערכת עלויות לכלל מרכזי המחקר

[1] נדרש תמרוץ לאוניברסיטה לעבוד ב- Open IP, מספר החוקרים נע בתחום שבין 40 ל-100 כתלות בהגדרת תחום ה-AI (למשל Computer Vision הוא חלק מה-AI?)

[2] נדרש תמרוץ להנחיית סטודנטים לדור המשך

[3] בהנחה שמוקמת רשות למידע - ראו דוח צוות המשנה לכח מחשוב.

[4] עצמאות לרכש מקומי/ענן

הערות: על פי הות"ת קיים צפי של 14- אלף סטודנטים (8 אוניברסיטאות, 6 מכללות) במקצועת ההי-טק. היעד הוא שכ-8-10% מהם מבוגרי האוניברסיטאות וכ-1-3% מבוגרי המכללות, ימשיכו לתארים מתקדמים בתחום הבינה המלאכותית. כמו כן ההנחה היא שהגידול במספר החוקרים יעשה בעיקרו ע"י קליטת חוקרים אשר משלבים בין אקדמיה לבין תעשייה.

סטודנטים שנה א' במקצועות ההייטק וצפי התפתחות													
אוניברסיטאות							מכללות						
סה"כ סטודנטים - נתוני למ"ס													
שנה א	שנה ב	שנה ג	שנה ד	שנה ה	שנה ו	שנה ז	שנה א	שנה ב	שנה ג	שנה ד	שנה ה	שנה ו	שנה ז
2,545	2,587	2,793	2,906	3,105	3,418	3,836	2,780	3,000	3,204	3,038	3,430	3,055	3,244
5,640	5,640	5,330	5,036	4,585	4,127	3,836	3,690	3,690	3,401	3,511	3,422	3,334	3,244
1,000	600	300					500	400	300	200			
1,400	1,000	600	300				500	400	300	200			
8,040	6,930	5,936	4,885	4,127	3,836	3,418	4,690	4,001	3,811	3,622	3,334	3,244	3,055
* כולל אוניברסיטאות אריאל החל מסט"ב													
מחוקצבות לא													
שנה א	שנה ב	שנה ג	שנה ד	שנה ה	שנה ו	שנה ז	שנה א	שנה ב	שנה ג	שנה ד	שנה ה	שנה ו	שנה ז
368	534	465	751	739	636	695	1,729	1,729	1,441	1,201	1,001	834	695
* תחת הנחה של גידול ב-20% לשנה החל מסט"ב													
סה"כ													
5,693	6,121	6,462	6,695	7,274	7,109	7,775	14,459	11,059	10,372	9,748	9,008	8,295	7,775

סה"כ בכלל המרכזים										
מרכיב	פירוט	יעד תר"ש	מצב קיים	שנה 1	שנה 2	שנה 3	שנה 4	שנה 5	תמחור [מש"ח]	הערות
				50%	70%	80%	90%	100%		
כ"א	חוקרי AI מהשורה הראשונה - מלא [1]	40-80	40-80							
	חוקרי AI מהשורה הראשונה - משלב (תעשייה ואקדמיה) [2]	60	10	35	21	11	11	11	1.75 מש"ח לחוקר	סל קליטה שנה ראשונה
	פוסט ליבה	50	10	6	8	10	11	12	0.24	כולל תקורות
	דוקטורנטים ליבה	300	100	27	38	43	49	54	0.18	
	תואר שני ליבה	750	300	38	53	60	68	75	0.10	
אמצעים [4]	דוקטורנטים רב תחומי	300	-	21	29	34	38	42	0.14	
	תואר שני רב תחומי	750	-	26	37	42	47	53	0.07	
	ארגון ותחזוקת נתונים [3]	30		5	8	9	10	11	0.36	תלוי אפליקציות
	כח חישוב לסטודנט ליבה			66	92	106	119	132	0.01	10 אש"ח לחודש
סה"כ	ציוד קצה לסטודנט ליבה			9	12	14	15	17	0.008	8 אש"ח
	כח חישוב ר"ת			25	35	40	45	50	0.004	4 אש"ח
	ציוד קצה ר"ת			3	4	5	6	6	0.003	3 אש"ח
סה"כ	סטודנטים וחוקרים	2250	410	261	337	372	417	463		
	תקורות ניהוליות נתונים/כח חישוב		15%	16	23	26	29	32		
סה"כ				277	360	398	447	495	1,978 מש"ח	לתר"ש

נספח ב' – נושאים פוטנציאליים למחקר

- 7. חומרה ל-AI
- 7.1 מחשוב קונבציונלי
- 7.2 מחשוב קוונטי
- 8. חקלאות

אנו מפרידים בין נושאים בסיסיים לנושאים אפליקטיביים וכל מרכז צפוי לעסוק ביותר מאחד מהם לפי יכולותיו וגודלו. להלן רשימה חלקית של נושאים פוטנציאליים:

נושאים בסיסיים:

1. ראיית מכונה
2. למידה על ידי חיזוקים ורובוטיקה
3. עיבוד והבנה של שפה טבעית ודיבור
4. ואלידציה ואימות של מערכות AI

נושאים אפליקטיביים:

1. סייבר: חסינות של טכנולוגיות מידע להתקפות בעזרת AI, חסינות מערכות ה-AI לסייבר מפני מניפולציות על הנתונים או תקיפות לשינוי מסקנות. כולל:

- 1.1. הגנה – איך לעשות AI שהוא Secure By Design למערכות בשימוש מדינתי קריטי
- 1.2. מיתוג ה-AI הישראלי כחסין סייבר
2. רפואה ציבורית ורפואה מותאמת אישית
 - 2.1. ניתוח רשומות (EMR)
 - 2.2. ניתוח מידע ויזואלי (דימות לסוגיו)
 - 2.3. טיפול היפר-פרסונלי ואדפטיבי
 - 2.4. רובוטיקה רפואית
3. רובוטיקה ואוטונומיה
 - 3.1. רובוטים תעשייתיים ותעשייה 4.0
 - 3.2. רובוטים רפואיים
 - 3.3. רובוטים ביתיים
 - 3.4. נהיגה אוטונומית
4. פינטק ו-AI
 - 4.1. פרדיקציה
 - 4.2. שימור לקוחות ומעגל חיי הלקוח
 - 4.3. ניהול סיכונים
5. תחבורה
 - 5.1. נהיגה אוטונומית וסמי אוטונומית
 - 5.2. smart cities
 - 5.3. יעול ותמחור שירותי תחבורה
6. Augmented Intelligence

processing (NLP)

- Weizmann - ~8 researchers - Main focus is in machine learning and computer vision
- Ben Gurion University (BGU) - ~16 researchers - Main focus is around applied ML

Prof. Dave Patterson from UC Berkeley, a Turing award winner wrote a paper called "How to build a bad research center" based on his 40 years of experience building a dozens of research centers. His centers were highly successful and influenced the entire industry like AMPLab, which created the industry platform and tools for big data analytics, RISC that created a new computer architecture and more. The key takeaways are:

- Build a multidisciplinary research center that strives to solve a well-defined industry problem that has an impact
- A collective creation of a research stack that demonstrates the vision of the center and builds it from pieces that are compatible. Each researcher has her/his own piece yet the pieces work together
- Output is a working open source platform that starts as a prototype and builds a community around it
- Funding comes from a large number of corporates that are engaged together with the government (NSF)
- Attract top PhDs and post docs together with MSc students and even undergrads. Create a working hierarchy that delegate responsibilities in the chain of command and reduces load from the Professor: PI -> Post Doc -> PhD student -> MSc. Student -> undergrad
- Parts of the research will be the basis of a spinoff to a commercial company

Since 2010 the number of ML papers increase by 16-32x in arxiv, but this is not the case in Israel. Most of the Israeli leading AI researchers have started working full or part time in the industry. In some cases, it has an impact on the number of students they have. In addition, the structure of labs in Israel (e.g., no postdocs) makes it hard to scale for a larger number of students. We need to harness the academy – industry relations to our needs and use corporates, universities and government to create multi-disciplinary research centers that involve all three players.

We recommend having a call for proposals for universities and research companies in Israel to build open IP centers in AI. These centers will have a portion of theoretic research along with applied activities. Each center will have 1-2 universities and 2-4 companies. All members of the center will need to invest people as researchers/ engineers and invest sponsorship, while government will match the investment. We see a room for 2 – 3 centers likes that in Israel that can be in the domains of:-

- NLP/NLU including Hebrew and conversational systems
- AI and HW
- Autonomous devices and robots
- AI and Manufacturing
- AI and Agriculture
- Personalized Healthcare and medicine

Data is the source for every good AI solution. Data exposes new academic problems to the researchers and attracts industry partners that otherwise do not have access to the data. Israel needs to open its data sources for local and global research, but not open this data to all, but rather control it and make sure all sides get value. In order to do this we need to have some regulatory arrangement of unique Israeli public data assets like the

Background: Artificial Intelligence (AI) is around us for several decades. Solutions such as recommendation systems are flourishing in the online retail business. Cellular companies, banks and other service providers use machine learning (ML) to predict customer churn and credit companies use it for fraud detection. In the recent years, we see AI booming thanks to a new ML technique called deep learning (DL) which outperforms previous algorithms and sometimes outperforms humans. DL started enabling computers to better solve new problems, some of which were previously dominated by older ML techniques. The amount of research papers in ML is roughly follows Moore's law and has doubles⁴⁹ itself every two years since 2010.

AI is rapidly growing in the last decade, and its community is quite unique in its structure and behavior. Leading universities have established different types of centers for AI such as RISELab & BAIR @ UC Berkeley, the ML department @ CMU and MILA @ Montreal. In addition, large hi-tech corporates are establishing leading organizations for AI research such as Google AI and FAIR by Facebook. Elon Mask created OpenAI, a non-profit AI research center that aims to promote and develop friendly AI in such a way as to benefit humanity as a whole. This organizations make the line between academy and industry blurry, as researchers move from academy to industry and back. Most of the AI community believes in providing open source and publishing their papers in an open repository of electronic papers called arxiv, letting the community to judge. In that spirit, many of them are boycotting the Nature magazine for establishing a new peer review AI magazine.

Problem: Many countries⁵⁰ such as the the The United States, China, Canada, Britain and France announce big investments in AI in the last two years. These announcements included investments in academic research, collaboration with enterprises, students & employees training and entrepreneurs & startups support.

The increasing demand for AI created a shortage of AI talent that is also influencing the top-notch researchers organizations in this domain. A group of European AI scientists published an open letter, proposing the foundation of an institute that will prevent "brain drain" to big tech firms. The scientists describe how Europe has not kept up with the US and China, where the vast majority of leading AI firms and universities are based. The letter adds that while a few "research hotspots" still exist in Europe, "virtually all of the top people in those places are continuously being pursued for recruitment by US companies." The letter, signed by scientists in the UK, France, Germany, Switzerland, Netherlands and Israel, calls for work on the new institute to start this year.

The AI researchers are the locomotive that pulls the entire AI train, and this research is done today in academy, industry and by NGOs. We need to combine forces to speed up the train.

Israel academic research centers

We have six universities in Israel (Technion, Tel Aviv, Bar Ilan, Weizmann, Hebrew University and Beer Sheva) that have active investment in AI. By analyzing the AI researchers in each university we find the following:

- Technion - ~33 researchers – Main focus is in machine learning and computer vision
- Hebrew University (HUJI) - ~20 researchers – Main focus is in machine learning and computer vision with some computational biology
- Tel Aviv University (TAU) - ~17 researchers - Main focus is in machine learning and computer vision with some computational biology
- Bar Ilan University (BIU) - ~12 researchers – Main focus is around machine learning and natural language

47 לא כל ההמלצות שנכתבו בנייר העמדה התקבלו בסופו של דבר על ידי הצוות אבל העקרונות הכלליים היו מקובלים
48 .Written by Assaf Araki, Itay Yogev, Amitai Armon & Rona Kisilevitz. For any feedback assaf.araki@intel.com
49 Jeff Dean, Google Senior Fellow and Goggle research lead, presentation at NIPS 2017

50 <https://medium.com/politics-ai/an-overview-of-national-ai-strategies-2a70ec6edfd>

נספח ד' – פגישות/שיחות/התכתבויות עם ועדות אחרות/אנשי מפתח

1. תחבורה/ ארז סברדלוב

תחבורה 4.0 כוללת מעבר לרכב האוטונומי גם שדרוג התשתיות העירוניות ומצוי ה-IOT.

2. פינטק/ דני צידון

מרכזי המחקר בנושא הפינטק נדרשים להיות בקרבה פיזית למרכז הכלכלי של מדינת ישראל - דהיינו בגוש דן (אוני' ת"א, בר-אילן, וייצמן)

3. IOT/ דובי אוסטר

4. מפא"ת/ראיין גיטי

נדרש שמרכזי המחקר יגרמו להגדלת כמויות הסטודנטים שלומדים לתואר ראשון ותארים מתקדמים במערכות תבוניות

5. תקשוב/נורית כהן אינגר

מרכזי המחקר נדרשים לקיים דיאלוג עם הצבא ולתמוך את הכשרת אנשיו

6. אמ"ן/גיל רימון

מרכזי המחקר יכללו מנגונים אשר יאפשר מחקר AI בנוראי בטחון, לרבות שת"פ בתשתיות ובכ"א ייעודי

7. רפואה/גבי ברבש

נדרש להכשר את הרופאים בתחומי ה-AI כך שהם ידעו לדרוש ולאפיין את הדרוש להם

8. רפואה/איציק קרייס (בהשתתפות איציק בן ישראל)

בשיבא הוקמה קרן השקעות פרטית-ציבורית לקידום הרפואה.

הוקם ARC - accelerate Research and Collaborate

ההשקעה והמעבר לדיגיטציה ושימוש במערכות AI הינו כורח המציאות על מנת שיתאפשר לספק רפואה ברמה סבירה בעוד עשור.

9. כח מחשוב / ארנה ברי

דוח הצוות בראשות ארנה הועבר לצוות להקמת מרכזי מחקר, ואנו מצטרפים להמלצות אשר מופיעות בדוח.

10. וייצמן/שמעון אולמן ודוד הראל

קיימים נושאי AI כגון Wise computing | Explicit and Validate AI אשר הינם קריטיים להתקדמות התחום והם פחות תלויים בתשתיות נתונים ועשויים למנף את יכולות המחקר הגבוהות של כח האדם בישראל.

11. אנבידיה (NVIDIA)/ גל צ'צ'יק

נדרש מודל שיאפשר את התפתחות המרכז לאורך הזמן. המרכזים מבוססי Champion אשר מסביבו תבנה העוצמה של המרכז. קיימת חשיבות קריטית לשת"פ עם התעשייה

12. סטארטאפיסטים

a. רפואה/ גל גושן, אופיר קרקובסקי איריס שחר, יעל דובינסקי

הגישה ל-Data בצורה פשוטה ויעילה הינה קריטית להתפתחות משמעותית בסטארט-אפים בתחום ויש להסדיר אותה.

Israeli army, Ministry of Education and Healthcare data.

Israeli AI Education

The research and PhD students are the locomotive of the AI industry but there is a huge community of people that will help pull this big train forward and we need to educate them better in AI. We need to expand the AI education to many populations and build a better AI foundation. Some suggestions and guiding principles:

- Teach AI as a separate degree for undergrads
- Teach AI as a certification for any CS, exact science & engineering degree
- Combine classes with real life experience (theory with applied)
 - » Open the certification to all via the internet
- Do not invent the wheel and create your own tailor made content, but use existing web courses and platforms (e.g Coursera, Kaggle, DeepLearning.ai etc.)
 - » Make sure material is updated frequently and students use state of the art tools and methodologies – the domain is evolving quickly and two years' old material is not relevant
- Create a platform for mentoring and knowledge sharing, AI consulting for startups

7. דוח צוות המשנה של המיזם הלאומי

למערכות נבונות

בנושא סייבר ומערכות נבונות

בראשות הודי זק

תקציר מנהלים

הממשק בין עולם הסייבר לבין עולם המערכות הנבנות הינו ממשק הולך ונבנה, עבודת הצוות זיהתה פער משמעותי באבטחת מערכות ה-AI המהוות שכבת תקיפה חדשה. הצוות ממליץ על הקמת מכון ייעודי שמתפקידיו יהיו הגנה טכנולוגית למערכות המיושמת במשק הישראלי מפני תקיפה עולם ה-AI תוך האצת המשק הישראלי לפיתוח יתרון תחרותי בתחום.

מבוא

מטרת הצוות הינה לבחון את נגזרות הסייבר על עולם המערכות הנבונות ואת התנאים הנדרשים ליצירת מובילות ישראלית בתחום, השימוש ההולך וגבר במערכות נבונות, יצר מצד אחד שימושים אבטחתיים למערכות אלו ומצד שני מרחב פעולה חדש לתוקף, בנוסף מערכות אלו מטיבן הינן מערכות סטטיסטיות הניזונות ממרחב אמון דבר המגדיל את מרחב התקיפה הפוטנציאלי. במסגרת הניתוח מופו שלשה רבדים של היחס בין עולמות התוכן והתמקדנו במרחב החדש והוא הגנה על מערכות נבונות מפני תקיפות לרכיב הנבון הגלום בהם.

הצוות בחן שלושה תתי עולמות תוכן בהגנות ותקיפות הנגזרים מהשימוש בטכנולוגיות AI:

הגנה על מערכות AI מפני תקיפות – שימוש בטכנולוגיות בינה מלאכותית במערכות, חושף מרחב תקיפות חדש שמטרתו פגיעה במנגנון ההחלטה של המערכת, קרי בבינה של המערכת. תחת תחום זה ניתן למנות תקיפות שמטרתן קבלת תוצר שגוי, החלטות מטעות, מוטות או איומים על הקניין הרוחני של המערכת עצמה. לאור פגיעותן של המערכות לתקיפות מתעוררת שאלת יסוד והיא כיצד והאם ניתן לאשר מערכת AI כמערכת בטוחה ו/או אמינה?

הגנה מפני תוקף סייבר בעל יכולות AI מתקדמות (תוקף נבון) שעושה בהן שימוש לצורך ביצוע תקיפה תחום זה עוסק בהערכת כיווני הפעולה להם יטה התוקף הנבון במרחב הסייבר, ניתוח תפיסות היסוד הדורשות שינוי לאור שינוי מתווה התוקף והגדרת אמצעי ההגנה הנדרשים על מנת להתמודד מול תוקף זה.

פיתוח מערכות הגנה נבונות – תחום זה עוסק בפיתוח מערכות הגנת סייבר מתקדמות תוך שימוש בטכנולוגיות AI, כל זאת לצורך שימור מעמדה של ישראל כמובילה עולמית בתחום הסייבר.

מיקוד פעילות הצוות

הצוות בחר להתמקד בהגנה על מערכות נבונות מפני תקיפות וזאת לאור האתגר הייחודי בתחום (להבדיל משימוש במערכות נבונות כאספקט נוסף במרחב הסייבר). בראייתנו התייחסות ל"מערכות נבונות חסיונות" הינו בעל משמעות קריטית לתחום ובעל פוטנציאל למובילות ישראלית לאור היתרון העיסוק הישראלי בעולם האבטחה הדיגיטלית ("סייבר"), ותחילת העיסוק הקיים בתחום באקדמיה הישראלית.

יש להבהיר כי הצוות רואה חשיבות רבה גם בשני התחומים האחרים (התמודדות עם תוקף נבון ובפיתוח מערכות הגנה נבונות). הצוות סבור שמרבית העיסוק בתחומים אלה צריך להיעשות במסגרת פעילויות הפיתוח והגנת הסייבר הנוכחיות בתעשייה ובגופי הממשל, לאור ההתפתחות הסייבר לתחום, והצורך בהתמודדות בטווח הקצר והבינוני.

בהמשך המסמך, נתאר את מרחב האיומים על מערכות AI ולאחר מכן נפרט את המלצות הצוות להערכות להתמודדות עם איומים אלה.

מרחב האיומים על מערכות AI

למרות שאנחנו רגילים שרשתות עמוקות עובדות ללא רבב ובביצועים הקרובים לאיכות אנושית, פותחו שיטות לתקיפת מערכות מבוססות רשתות עמוקות ובינה מלאכותית. שיטות אלו תוקפות את המערכת וחלקיה בשלבים שונים. בפגישות הצוות עלה כי תפיסות ושיטות הגנה בתחומים אלו נמצאות רק בראשיתן ומהוות כר נרחב לפריצות דרך אקדמאיות ותעשייתיות.

נשתמש בדוגמא מובילה על מנת להמחיש את הפוטנציאל של תקיפות אלו, נדמיין מערכת נבונה שתפקידה לנהל אספקה לוגיסטית של בית חולים, המערכת אמורה להחליט על המלאי הנדרש מכל תרופה ומכל ציוד רפואי אחר. המערכת תלמד את סטאטוס המלאי של בית החולים ואת הצריכה ותצביע על המלאי הרצוי של כל רכיב.

בין התקיפות ושיטות ההגנה ניתן למנות:

o **התקפות בזמן האימון** - התקפות על מרכיב המידע בשלב האימון ויצרת הטיה לאור שימוש במידע שאינו אמין.

בהקשר הדוגמא: המערכת שתקבל את המידע מתקופת הקיץ בלבד לא תדע להכין מלאי מספיק של תרופות להתמודדות עם שפעת. חוסר של מלאי זה יכול להביא עד כדי פגיעה מהותית בחולים.

הגנה מפני תקיפה זו תתכן על ידי הבנה של כיצד ניראה מידע תקין (מה החלוקה בו וכדומה) השוואת מאגר המידע מול נתוני פיזור נוספים, בחינת מדדי פיזור ומול הפיזור באוכלוסיות האמת ועוד.

o **התקפות בזמן הסק** - התקפות על המערכת המוטמעת לכדי קבלת תוצאה (החלטה) שאינה נכונה וזאת על ידי הוספת מידע לסיגנל הכניסה שסיט את הרשת מזיהוי נכון. הטיות אלו של המערכת הינן שקופות לאדם אך בעלות השפעה מכרעת על תפקודה של המכונה.

בהקשר הדוגמא: הוספת רעש לנתוני בדיקות האדם של חולה יכול להביא לאספקת סוג דם שאינו נכון מהמחסן לחדר הניתוח וכך לסכן את החולה.

o **הטיה של המערכת לאורך זמן** – חלק גדול של מערכות אלו הינן בלימוד מתמשך כלומר המערכת משתמש בתוצאות כדי לטייב את המערכת עצמה, הטיה קטנה לאורך זמן יכולה לגרום להטיה משמעותית של לימוד המערכת.

בהקשר הדוגמא: הורדה במלאי נדרש של תרופה לאורך זמן תגרום למערכת להבין כי צריכת התרופה בירידה וכך תבטל את הזמנת התרופה ותגיע לפער.

o **הגנה מפני תקיפות** אלו יכולת להתבצע בשיטות של אימות פורמלי של מערכות או על ידי ביצוע השוואה מול מספר מנגנוני הסקה על מנת לבדוק את אמינות התשובות וכלים נוספים.

o **גניבת סודות המערכת** – תקיפות אלו מיועדות לגניבת מידע מהמערכת כגון נתוני האימון או אף את מודל ההגנה עצמו.

בהקשר הדוגמא: תקיפת המערכת יכולה להביא לכדי גניבת מנגנון ההחלטה או את נתוני מלאי החירום של מדינת ישראל (נתוני המינימום במערכת).

הגנה מפני תקיפות אלו אפשרית על ידי חתימה זכות יוצרים על המודל, זיהוי תקיפות בזמן אמת ועוד.

המלצות הצוות:

למקד את ישראל כמובילה בתחום ביטחון AI (AI assure) על ידי הקמה של הקמת מכון לאומי לביטחון AI (AI assure). המכון ינהל, יזום, ויבצע פעילויות שמטרתן:

- שילוב בטוח של מערכות AI במגזר הממשלתי.
- פיתוח יכולת לבדיקת מערכות AI מפני תקיפות שונות.

- הנגשת יכולת וידע לתעשייה הישראלית.

- תמיכה בתעשייה והמחקר בישראל בנישה של הגנה על רכיב ה־AI מפני תקיפות ייעודיות לעולם זה.

המיקוד מתכתב עם חוזקות הבסיס של ישראל (סייבר והגנה) ועם העולם המתפתח כבר כיום ניתן לראות ניצנים של תחום זה באקדמיה.

המכון יפעל במספר תחומים בהם ניתן למנות:

אישור והנגשת מאגרי מידע

הקמת מאגר נתונים לאומי מזוכה בתחומים שונים – שנמצאו בטוחים המאגר ישמש הן לפיתוח מערכות בטוחות, לפיתוח כלי הגנה וכמקדם לפיתוח שיטות לאיתור הטיות נתונים. המכון יפעל להנגיש את המידע בצורה רחבה תוך שמירה על פרטיות וסודיות.

- הנגשת מאגרי נתונים (data set) של מידע ישראלי בתחומים שונים (רפואה, תחבורה, ממשל וכדומה) תוך הבטחת אנונימיות ראויה של המאגרים. המאגרים יוגשו לתעשייה ולאקדמיה.
- הבטחה ואבטחת המאגרים מפני הטיות מסוגים שונים,
- פיתוח שיטות (באמצעות התעשייה והאקדמיה) לבחינת בטיחות, לטיוב ולאנונימציה של מאגרי המידע בשיטות שונות,

השפעה על המשק / מגזר ממשלתי

אישור מערכות נבונות עבור המגזר הממשלתי

- ביצוע בדיקות למערכות משמעותיות במגזר הממשלתי לבטיחות מערכות הAI ולאמינות לאורך זמן.
- פיתוח מדדים ומדדים לאישור תקיפות מערכות לאורך זמן.
- הנגשת הדרישות והבדיקות חברות ישראליות כעוגן לידע לפיתוח.
- מתן אפשרות לבדיקת מערכות של התעשייה הישראלית / מגזרים משמעותיים במשק לבחינת מוצרים בשלבי הפיתוח וכרכיב ייצוא.

עידוד פיתוח מערכות מוגנות –

- עידוד המשק הישראלי לפתח הגנה על מערכות על ידי הגדרת תו תקן, מענקים ייעודיים, אם בשלב הפיתוח ואם בשלב ההמצרה.
- קידום תחרויות וBUG BOUNTY לשיפור המשק הישראלי.

הגדרת תרחיש ייחוס -

- פיתוח והגשת תרחיש ייחוס לבחינת חוסן ולפיתוח מוצרים מול עולם תקיפות זו.
- פיתוח סימולטור, מעבדה, אתגרים וכדומה שיבנו על ידי המדינה / במימון המדינה

מחקר

תמיכה באקדמיה ומוסדות מחקר לפיתוח הון אנושי ויכולת:

פיתוח תפיסות, שיטות וכלים – פיתוח כלים, תפיסות ושיטות לאבטחת מחזור החיים המלא של המערכות הנבונות (קליטה ועיבוד נתונים, טיוב נתונים וזיהוי הטיות/תקיפות, בניית מודל ותיקופו, שימוש מבצעי, עדכון עיתי).

הרחבת המחקר והבנת האיום – מלגות ייעודיות לחוקרים בתחום, הוספת קורסים המלמדים שימוש נכון ומוטעה במערכות נבונות לכלל המקצועות

מעבר להמלצות הממוקדות בביטחון מערכות ה-AI הצוות ממליץ על פעילות גם בתחום הגנת הסייבר בממשק מול המערכות הנבונות:

- לעודד את הגופים הציבוריים והפרטיים במשק להיערך לשינוי האיום.
- הקמה והנגשת מאגרי מידע יעודים לעולם ההגנה לשם פיתוח כלי הגנה. מאגרי מידע אלו יונגשו באמצעות המכון לאבטחת ה-AI ויאפשר פיתוח של כלי הגנה מבוססי AI.

לסיכום

מיקוד הפעילות בישראל בנקודת החוזק של אתגרי אבטחה ואמון מול עולם מערכות ה-AI מאפשר את הגנתה ופיתוח של ישראל בשלשת רבדי הפעילות כפי שהוגדרו במטרות הצוות:

- העלאת הביטחון הלאומי – על ידי שילוב בטוח של מערכות אלו בישראל.
- מובילות באקו-סיסטם – על ידי מיקוד בנישה ייעודית ופיתוח יכולת ישראליות ייחודיות בתחום זה.
- לטובת רווחת הציבור -על ידי שימוש נכון במערכות נבונות מחד ומאידך על ידי הבטחת שגשוגה הכלכלי של ישראל לאורך זמן.

נספח פגישות

תאריך	נושא	הערות
08/11	פתיחה וחלוקת עבודה	
29/11	מיקוד נושאי הפעילות	
17/12	התמודדות מול תוקף נבון	
10/1/19	תקיפת מערכות AI	
24/02/19	סיכום	

8. דוח צוות המשנה של המיזם הלאומי למערכות נבונות בנושא אתיקה ורגולציה של בינה מלאכותית

בראשות פרופ' קרין נהון

גילוי נאות:

העמדות המובעות בדו"ח אינן בהכרח מייצגות את עמדות המוסד או הארגון אליהם שייכים חברי הצוות.

תקציר מנהלים והמלצות הצוות

צוות זה הינו צוות משנה של המיזם הלאומי למערכות נבונות בטוחות בנושא אתיקה ורגולציה של בינה מלאכותית. על הצוות הוטל לדון בהיבטים האתיים המשפטיים והרגולטוריים של תחום הבינה המלאכותית. בנוסף הוטל על הצוות להמליץ על עקרונות מנחים בהקשר הישראלי אשר יילקחו בחשבון כחלק מהתכנית הלאומית, שתוגש לרוה"מ, להפיכת ישראל למובילה בתחום.

המסמך נכתב עבור שני קהלי-יעד שונים: ראשית, ככלי עזר למקבלי החלטות בתחום ועבור מפתחי מערכות בינה מלאכותית. הדוח עוסק בטכנולוגיות ובשימושים שכיחים בתחום הבינה המלאכותית כיום ובשנים הקרובות ועל כן התמקד בהיבטים של בינה מלאכותית צרה ובעיקר למידת מכונה. הנחה מרכזית שליוותה את כתיבת הדוח היא ששילובם של שיקולים אתיים בשלבי הפיתוח והתחזוקה של מוצר משולב בינה מלאכותית, לטווח הארוך, יעניקו יתרון לחברות ולמדינות שפועלות לפיהן. בנוסף, הצוות העדיף לנקוט בגישה של התערבות מידתית, ותוך הנחה כי יש לתת מענה מראש למקרים בעייתיים אפשריים ולא רק בדיעבד.

יוער כבר עתה, הצוות לא עסק בשאלות של שיקולים רגולטוריים ואתיים בתחום דיני הלחימה.

מבנה הדוח

הפרק הראשון בדוח דן במאפיינים הייחודים של טכנולוגית הבינה המלאכותית, אשר רלוונטיים לדיון בנושא המשילות האתית והמשפטית בתחום הבינה המלאכותית.

הפרק השני בדוח הציג את המלצות הצוות ביחס לעקרונות הערכיים והאתיים שיש להחיל על פעילות פיתוח ושימוש בטכנולוגית בינה מלאכותית. המלצות אלה גובשו בהתבסס על ההיבטים הייחודים שאותרו בידי הצוות, בזיקה לדיונים דומים המתנהלים בגופים בינלאומיים ציבורים ופרטיים.

בנוסף הצוות פיתח כלי עזר למקבלי החלטות. כלי העזר בנוי מקבוצת שאלות שמקבלי החלטות צריכים לענות עליהן בבואם לבדוק כשלים אתיים אפשריים, וממפת שכיחות, שמראה את השכיחות של תופעות אתיות לאור שרשרת הפיתוח של המוצר.

הפרק השלישי מציג את האפשרויות השונות בתחום האסדרה של בינה מלאכותית, כחלק מהדיון אודות התפקיד של המשפט ומוסדות משפטיים בקידום ודאות, מימוש עקרונות ערכיים ותמיכה בחדשנות של בינה מלאכותית.

פרק ראשון: מה ייחודי בטכנולוגיית הבינה המלאכותית:

1. מערכות בינה מלאכותית נוטות להקציין יחסי גומלין קיימים במערכות חברתיות.

2. האתגר "להנדס" ערכים בייחוד במערכות בינה מלאכותית הפועלות בתחומים שבהם ההחלטות שהופעלו באופן מסורתי בידי גורם אנושי.

3. סיכונים לפרטיות בשל העובדה שמערכות בינה מלאכותית מבוססות על עיבודי מידע רב, ממקורות שונים.

4. מורכבות מוצרים שלובי בינה מלאכותית מעוררים קושי בהשגת אמון הציבור.

5. שינויים בתחרותיות בשוק והגדלת הפערים בין חברות גדלות וקטנות.

6. שינוי בקטגוריות מוכרות לאחריות של יצרני מוצרים, ספקי שירותים, ועסקים הנשענים עליהם.

פרק שני : אתיקה ובינה מלאכותית

• הצוות קורא לבנות תכניות של ידע והכשרה לאתיקה של אנשי המקצוע העוסקים בפיתוח מערכות בינה מלאכותית.

• הצוות מאמין כי שמירה על מערכת עקרונות אתיים על פיהם יפעלו ארגונים פרטיים והסקטור הציבורי, הוא קריטי לטווח ארוך.

• הצוות זיהה את העקרונות האתיים הבאים כחשובים וכאלה שמקבלי החלטות צריכים לשים לב אליהם:

1. **הוגנות** – חתירה לשוויון מהותי, מניעת הטיות (במידע, בתהליך, בתוצר), מניעת הפליה, והימנעות מהגדלת פערים חברתיים, כלכליים והשכלתיים.

2. **אחריותיות** (Accountability)

א. שקיפות –הנגשה, בהתאם להקשר ולנסיבות, של מידע על התהליך עצמו ועל דרך קבלת ההחלטה.

ב. הסברתיות – הסבר הפעולה וההחלטה - היכולת להסביר את תהליך קבלת ההחלטה של המערכת (ברמת המשתמשים כפרטים, גם ברמת הכלל אם המערכת משפיעה על קבוצות, וגם עבור מפעילי המערכת עצמם).

ג. אחריות וניהול סיכונים – חלוקת האחריות האתית והמשפטית לגורמים הרלבנטיים בשרשרת הערך, וחלוקת ניהול הסיכונים ביניהם. קביעת האחריות ליצירת כללים לאמצעים סבירים למניעת הסיכון בהתאם להקשר ולעוצמת הסיכון הצפוי, לניהול הסיכונים ולמינויו של גורם אחראי לניהול הסיכונים.

3. **כיבוד זכויות אדם והגנה עליהן** – כיבוד כלל זכויות האדם ומודעות לצורך הגובר בהגנה על זכויות מסוימות שעלולות להיפגע יותר בעידן הבינה המלאכותית וביניהן:

א. שמירה על שלמות הגוף - הגנה מפני פגיעה בחייו או בגופו של אדם.

ב. פרטיות – הגנה על פרטיות, לרבות מניעת פגיעה בפרטיות באמצעות איסוף המידע, ניתוח ועיבוד המידע, שיתוף המידע ובשימושים אחרים וחדשים בו.

ג. השמירה על האוטונומיה - שמירה על יכולתו של אדם לקבל החלטות תבוניות, ובין השאר, מניעת השפעה שאינה הוגנת או אינה מודעת על התנהגות היחיד.

ד. זכויות אזרחיות ופוליטיות – לרבות הזכות לבחור, הזכות לחופש הביטוי והזכות לחופש הדת והמצפון.

4. **הגנת סייבר ואבטחת מידע** – שמירה על התפקוד התקין של המערכות, הגנה על המידע המשמש אותן ומניעת שימוש לרעה בידי גורם זדוני.

5. **בטיחות** - מניעת סכנה (לפרט, לחברה) וצמצום גרימת נזק.

א. בטיחות "פנימית" התמקדות בבטיחות תהליך הפיתוח של כלי הבינה המלאכותית.

ב. בטיחות חיצונית – התמקדות בסכנה והנזק עבור הסביבה והלקוחות, כתוצאה מהשימוש.

6. **קיום שוק תחרותי** – שמירה על שוק תחרותי ועל כללי משחק מאפשרים.

• הצוות ממליץ לראות בכל העוסקים בתחום הבינה המלאכותית כאחראים לפעול באופן חוקי ואתי. על העוסקים בתחום להישאר מעודכנים בנושא ואי עמידה בתנאים אלו עלולה להיחשב כרשלנות.

• הצוות פיתח כלי לבחינת האתגרים האתיים עבור מקבלי החלטות. הכלי בנוי משני חלקים:

חלק א' מורכב מקבוצת שאלות ראשוניות שיש לשאול בעת פיתוח מוצר בינה מלאכותית ואשר בוחנות את מידת ההשפעה של מערכת הבינה המלאכותית. שאלות אלה מיועדות למפתחי המוצרים לאורך כל שרשרת הפיתוח והייצור, ויש לעדכן אותן

מעת לעת.

1. מהי עוצמת הפגיעה הפוטנציאלית בפרט?
2. מהי עוצמת ההשפעה הפוטנציאלית על התודעה?
3. מהי עוצמת הפגיעה הפוטנציאלית בציבור?
4. האם ישנה השפעה על הקצאת משאבים לציבור, ומהי?
5. האם צוות הפיתוח מגוון דיו?
6. מהי עוצמת הפגיעה הצפויה אם יעשו שימוש לרעה במוצר או שהמוצר יצא משליטה?
7. האם יש דרך מהירה לזיהוי של תקלות אתיות במערכת שלא נצפו מראש?

מפת שכיחות אתגרים אתיים בשלבי פיתוח מערכת בינה מלאכותית

הוגנות	הבנת הצורך העסקי	איסוף נתונים	ארגון נתונים	בניית מודל	הערכת המודל	הפצה	מעקב אחרי ביצועים	אקוסיסטם
1,3,4		1,3,4		3,4	1,3,4	1,4,9	1,3,4,9	1,4,9
4	4			3,4				4
4	4			3,4				9
1,2,3,4					1,3,4	3,4	3,4,5,6	2,5,6,9
2,9	1	1	1,2	1	1			2,9
7,10							10	6,7,10
			2					2,9
4,9	4,9			4		4	4	4,9
3,4	3,4	3,4		3,4	3,4	3,4,5,8	3,4,5	3,5,8
5	5						5	

מקרא:

1	מקרה בוחן 1 מערכת בינה מלאכותית לסינון מועמדים לעבודה
2	מקרה בוחן 2 שימוש בבינה מלאכותית להשפעה על תודעת האנשים
3	מקרה בוחן 3 חיזוי סיכון ממחלות
4	מקרה בוחן 4 מערכת להערכת מסוכנות של עצירים
5	מקרה בוחן 5 משחק בו שחקנים וירטואלים מונחי בינה מלאכותית צברו נשקים שוברי שיוויון
6	מקרה בוחן 6 בוט שהפך לגזען
7	מקרה בוחן 7 בוט שמתחזה לאדם
8	מקרה בוחן 8 מכוניות אוטונומיות דרסה למוות הולכת רגל
9	מקרה בוחן 9 הטיות בזיהוי פנים
10	מקרה בוחן 10 מערכות המלצה של תוכן מציגות מידע שונה לאוכלוסיות שונות

שכיחות המקרים הבעייתיים הייתה נמוכה (מקרה בודד)
שכיחות המקרים הבעייתיים הייתה בינונית (2 מקרים)
שכיחות המקרים הבעייתיים הייתה גבוהה (3 מקרים ומעלה)

חלק ב' של הכלי הוא שימוש ותחזוקה של מפת שכיחות, המאפשרת לאתר את המוקדים האתגריים מבחינת הטמעת הערכים האתיים בשלבי הפיתוח של המערכת (לאו דווקא את עוצמת הנזק או הפגיעה, כי אם את שכיחות הפגיעה). מפת השכיחות המוצגת בדוח בוחנת עשרה מקרי-בוחן מייצגים שאירעו, אותם הצוות בחר, ומאתרת את הנקודות בהן עלולים להתעורר אתגרים אתיים לפי ציר הזמן ושלבי הפיתוח.

עשרת מקרי הבוחן שנבדקו ועל פיהם נבנתה מפת השכיחות:

1. מערכת בינה מלאכותית לסינון מועמדי עבודה.
2. שימוש בבינה מלאכותית להשפעה על תודעת האנשים.
3. חיזוי סכנות ממחלות.
4. מערכת להערכת מסוכנות של עצירים.
5. משחק בו שחקנים וירטואליים מונחי בינה מלאכותית צברו נשקים שוברי שיוויון.
6. בוט שהפך לגזען.
7. בוט שמתחזה לאדם.
8. הטיות בזיהוי פנים.
9. מכוניות אוטונומיות דרסה למוות הולכת רגל.
10. מערכות המלצה של תוכן מציגות מידע שונה לאוכלוסיות שונות.

פרק שלישי : בינה מלאכותית ואסדרה

המטרה הכללית של אסדרה היא להביא להפנמה ולשינוי התנהגות של אנשים. תחום הבינה המלאכותית הוא דינאמי, גלובלי ומושפע מפיתוחים חוצי-גבולות, מתפתח במהרה, עוסק בנתוני עתק, וכזה שהמגזר הפרטי מניע חלק ניכר מההתקדמות הטכנולוגית בו. הצוות זיהה כי קיימות מספר אפשרויות של אסדרה להתמודדות עם אתגרים של בינה מלאכותית :

1. אסדרה באמצעות חקיקה באמצעות דין ייעודי.

2. אסדרה באמצעות פיתוח שיפוטי.

3. אסדרה באמצעות תקינה מקצועית.

4. אסדרה-עצמית לא משפטית.

לכל אחת משיטות האסדרה יתרונות וחסרונות, באיזון שבין ניהול סיכונים, ודאות, תופעות לוואי, גמישות וחדשנות. בחלק זה הצוות מתאר את היתרונות והחסרונות של סוגי האסדרה השונים, וההתאמה שלהם לאזורי סיכון שונים.

סוג האסדרה	מאפיינים	יתרונות	חסרונות	המלצות הצוות
אסדרה באמצעות חקיקה באמצעות דין ייעודי	חוק ייעודי או תיקון לחוקים אחרים שנאכף בידי רשות מדינתית קיימת או בידי גורמים פרטים	<ul style="list-style-type: none">מגביר את הבהירות לגבי הערכים המוגנים מאפשר פיתוח שיפוטי קונקרטי על בסיסי קווים מנחים של המחוקק גמישות חלקית	<ul style="list-style-type: none">העדר התמחות מקצועית בארגון אחד אכיפה לאחר מעשה בלבד. עלול להגביר את חוסר ודאות לא מתערב במערכת יחסי הכוחות הקיימים שבו יתכן יתרון לגורמים מסוימים	מתאים בעיקר לאזורי סיכון בינוני וגבוה
אסדרה באמצעות פיתוח שיפוטי	ללא חוק ספציפי	<ul style="list-style-type: none">ללא חיכוך רגולטורי או משפטי ישיר גמישות מאפשר פיתוח שיפוטי	<ul style="list-style-type: none">דרך כלל פיתוח שיפוטי יהיה במקרים מובהקים יותר של נזק – ולכן לא ברור שיאפשר מענה הולם לכל טווח הסיכונים לנזק העדר התמחות מקצועית בארגון אחד חוסר ודאות יתרון לשחקנים חזקים	מתאים למצבים של סיכון בינוני ואי בהירות לגבי כיווני הפיתוח
אסדרה באמצעות תקינה מקצועית או של קהילה מקצועית/אתית	מאפשר ייבוא בידי המשפט בעתיד	<ul style="list-style-type: none">גמישות לגיטימיות גבוהה בקהילה המקצועית תהליך שיתופי	<ul style="list-style-type: none">סיכון להדרה של המשפט וערכיו תלות במשפט לקבלת תוקף מחייב, פיקוח ואכיפה יתרון לשחקנים חזקים	מתאים לאזורי סיכון בינוני ונמוך, ומתאים כמסגרת לפיתוח ובחינה של החלת העקרונות האתיים
אסדרה לא-משפטית	ללא נורמה משפטית (למשל החלת עקרונות אתיים)	<ul style="list-style-type: none">גמישות לגיטימיות גבוהה בקהילה המקצועית	<ul style="list-style-type: none">סיכון להדרה של המשפט וערכי היסוד שלו (שוויון, הגינות, זכויות אדם) תלות בקהילה המקצועית לפיתוח חסר מנגנון אכיפה אמין יתרון לשחקנים חזקים	מתאים לאזורי סיכון נמוך, שם מספיקה אסדרה לא-משפטית, ואזורי סיכון גבוה, שם ההתפתחות הטכנולוגית מהירה יחסית לאפיק המשפטי

• הצוות רואה חשיבות להתאים את האסדרה הנבחרת לחקיקה, למדיניות ולתקינה מקובלות במדינות המפותחות, על מנת שמדינת ישראל תוכל להישאר בחוד החנית של התחום.

• הצוות ממליץ לייצר עמדה ממשלתית ברורה ואחידה של מדינת ישראל שתוצג בבמות הבינלאומיות החשובות.

• הצוות ממליץ למפות את השחקנים השונים המצויים בשרשרת הערך ובאקו-סיסטם של המוצרים והשירותים, כדי ליצור מסגרת מותאמת של אחריות ומערכת תמריצים כדי שיפינימו את העקרונות האתיים שנסקרו בפרק השני של הדוח. במיפוי יש לכלול גם את גורמי המחקר הבסיסי, המחקר היישומי, המחקר התעשייתי, הגורמים המיישמים וכד'.

• אחריות הנהלת הארגון לבחון באופן קונקרטי את הסיכונים הנובעים לערך המוגן מהפעילות המוצעת, ולהתאים לה מסגרת ניהול סיכונים. על ארגונים לקיים ״מרחב ניסוי״ ו- ״מעגלי בקרה״ בטרם מימוש בפועל של הטכנולוגיה. מובן כי רמת ועומק הניסוי הנדרש הינו בזיקה לעקרונות האתיים שהוצעו בדוח זה.

• הצוות סבור כי קידום רגולציה-מסייעת, בשלבים הראשונים של פיתוח מערכות בינה מלאכותית, יכולה לסייע רבות בהטמעת העקרונות והערכים האתיים.

• הצוות ממליץ לרשויות האסדרה לשלב עיקרון תהליכי שיאפשר ניסוי מבוקר של המדיניות הרגולטורית המיושמת.

• הצוות ממליץ לבחון את אפשרות התפיסה של סביבה רגולטורית מבוקרת (regulatory sandbox) בדומה להמלצות המתגבשות ב-OECD.

• הצוות ממליץ להתחיל באיתור הרשויות המסדירות את נושא משאבי מידע המשמשים לעיבודי טכנולוגית בינה מלאכותית, וכן את אותן רשויות אסדרה האחראיות על שוק המוצר שיווצר. איתור רשויות אסדרה אלה יסייע בהסרת חסמים לשימוש בבינה מלאכותית ולהתאמה של המעטפת הרגולטורית לסיכונים הקיימים מהמערכת.

• הצוות ממליץ כי בכל הקשור למימוש בינה מלאכותית הכרוך בעיבוד מידע אישי, או שיש לו השלכות על קבלת החלטות מבוססות מידע אישי המוסדרות באמצעות דיני הפרטיות, רשות האסדרה המובילה תהיה רשות הגנת הפרטיות, אשר תפעל בתיאום עם רשויות האסדרה הייעודיות, ככל שיהיו.

א. בהתאם לכך הצוות ממליץ כי רשות הגנת הפרטיות תבחן את העקרונות המנחים שהוצגו לעיל ותגבש תכנית מימוש בתחומי המידע האישי בהקשר של בינה מלאכותית.

ב. בפרט, נראה כי יש לוודא כי לרשות הגנת הפרטיות משאבים טכנולוגים וחומריים לפתח מסגרת טכנולוגית ומשפטית מעודכנת לתחום אנונימיזציה של מידע. היכולת לבצע אנונימציה של מידע אישי, ברמת סמך סבירה, היא יכולת תשתיתית לפיתוח וקידום בינה מלאכותית.

• הצוות ממליץ כי הרשות לתחרות תגבש דרכי התמודדות שמטרתן שמירה על תחרות הוגנת בתחום; שמירה על צרכנים ועל נגישות הטכנולוגיה; ומניעת גלגול סיכוני הטכנולוגיה או עלויותיה באופן שאינו יעיל לשחקנים חלשים יותר במורד ״שרשרת הערך״.

• הצוות ממליץ להקים מנגנון תיאום פנים ממשלתי על-משרדי. כל זאת, על מנת ליצור מדיניות אחידה, ברורה וקוהרנטית, בין כלל משרדי הממשלה. מכיוון שלכל החלטה בתחום הבינה המלאכותית השפעות רוחביות מידיות, יש לבחון את כלל ההיבטים הרלוונטיים של כל החלטה על הרגולטורים השונים ועל החברה בכללותה.

• בנוסף לתיאום הכולל והמנחה, הצוות צופה שיעלה הצורך במקרים מסוימים בתיאום בפרויקטים רוחביים חוצי-משרדים. בהתאם לכך מוצע להקים מנגנון תיאום ממשלתי בפורמט אפקטיבי כדי להעביר מידע מקצועי ורגולטורי בין הגורמים השונים ולאפשר להם קבלת החלטות מבוססת תמונה רחבה יותר.

• הצוות ממליץ כי יוקם מנגנון תיאום ומוקד ידע ממשלתי כדי לסייע לממשלה ולרשויות האסדרה בקידום הנושא באופן קוהרנטי. בדיוני הצוות עלה חשש מפני אי תיאום או סתירות שעלולות להיגרם כפועל יוצא של ההצעה להתבסס על רשויות האסדרה המגזריות. הצוות לא דן במאפייני המנגנון אלא ממליצה על הצורך בקיום פונקציה כזו במסגרת ההיערכות האסדרתית.

• הצוות ממליץ כי רשויות האחראיות על משאבי מידע כחלק מתחום הליבה שלהן, יידרשו לבצע בחינה בהתאם לעקרונות העל האתיים. עליהן לבחון האם בעת פריסה של טכנולוגיות בינה מלאכותית או שימוש בהן בתחומי הפעילות המאוסדרים על ידן, יש צורך בהתאמה של המסגרת החלה כדי לקדם את ההגנה על האינטרסים המאוסדרים.

פרק 1 – הקדמה

צוות זה הינו צוות משנה של המיזם הלאומי למערכות נבונות בטוחות בנושא אתיקה ורגולציה של בינה מלאכותית. על הצוות הוטל לדון בהיבטים האתיים המשפטיים והרגולטוריים של תחום הבינה המלאכותית. בנוסף הוטל עליו להמליץ על עקרונות מנחים בהקשר הישראלי אשר יילקחו בחשבון כחלק מהתכנית הלאומית, שתוגש לרה"מ, להפיכת ישראל למובילה בתחום.

השיח על אודות בינה מלאכותית, אתיקה, משפט ורגולציה מצוי בעלייה בשנים האחרונות. זאת, לאור ההתקדמויות הטכנולוגיות, המייצרות שאלות חדשות אודות סיכונים, אחריות, ותועלות חברתיות הנובעות מפיתוח ושימוש בבינה ממלאכותית בהקשרים שונים. להיבטים אתיים משפטים ורגולטורים יש השפעה על מרחב הפעולה של שחקנים שונים המפתחים ומשתמשים בבינה מלאכותית. להיבטים הנ"ל ישנה אף השפעה על הגנה על ערכים חברתיים מוכרים ובהם האוטונומיה של הפרט, הזכות לפרטיות, חדשנות והוגנות. במסגרת זאת יש גם ציפייה לרתימת האפשרויות הטכנולוגיות לקפיצת מדרגה ברווחה האנושית הכוללת.

הנחות עבודה של הצוות

1. המסמך נכתב עבור שני קהלי-יעד שונים: ראשית, ככלי עזר למקבלי החלטות בתחום האתי והמשפטי מתוך ראייה משפטית, אתית וטכנולוגית. שנית, עבור מפתחי מערכות בינה מלאכותית, הנזקקים לקבל החלטות בעלות השלכות אתיות ומשפטיות.

2. הדוח הנוכחי עוסק בטכנולוגיות ובישמושים שכיחים בתחום הבינה המלאכותית כיום ובשנים הקרובות. על כן הדוח התמקד בעיקר בהיבטים אתיים ורגולטוריים של בינה מלאכותית צרה (Narrow AI)⁵¹, כזו שממוקדת במשימות מוגדרות, וב-machine learning.

3. הנחה מרכזית שליוותה את כתיבת הדוח היא ששילובם של שיקולים אתיים בשלבי הפיתוח והתחזוקה של מוצר משולב בינה מלאכותית, לטווח הארוך, יעניקו יתרון לחברות ולמדינות שפועלות לפיהן.

4. הצוות העדיף לנקוט בגישה של **התערבות מידתית**, לפיה ההתערבות אמורה להיות במידה הנדרשת בלבד, תוך בחינת כלל השיקולים הרלוונטיים (זכויות פרט, טובת הציבור, שיקולים מסחריים ותחרותיים, חדשנות וכדומה). בנוסף, הצוות יצא מנקודת הנחה כי יש לתת מענה מראש ולא רק בדיעבד למקרים בעייתיים אפשריים.

במה הצוות לא עסק?

הצוות לא עסק בשאלות של שיקולים רגולטוריים ואתיים בתחום דיני הלחימה. שאלת שילובן של מכונות בינה מלאכותית אוטונומיות בשדה הקרב הינה שאלה שחוקרים וארגונים רבים מנסים לבחון בימים אלה. ישנה מחלוקת בנושא. מצד אחד, ישנם מדינות ומומחים בולטים בתחום דיני לחימה הסבורים כי בתנאים מסוימים לא תהיה מניעה בעתיד לשלב כלים אוטונומיים, ככל שיפותחו כאלה, למלחמה בשדה הקרב, וכי דווקא שילובם בשדה הקרב יכול לתרום לצמצום הנפגעים שאינם אמורים להיפגע ולקיומם של הדינים הבינלאומיים. אל מול עמדה זו, מומחים שונים ובין השאר, הקליניקה המשפטית לזכויות אדם בינלאומיות באוניברסיטת הרווארד בשיתוף עם משמר זכויות האדם (Human RightsWatch), טוענים כי לאור הדינים הבינלאומיים השונים, אין לשלב טכנולוגיות של מכונות הרג אוטונומיות בשדה הקרב.⁵² נראה כי בנושא זה עוד מוקדם להסיק מסקנות ויהיה נכון להמשיך את הדיון בפורומים ייעודיים לנושא.

פעילות הצוות ומבנה הדוח

מטרת הדוח היא להבין מהן המערכות הרגולטוריות והאתיות הקיימות שיכולות לתת מענה לשאלות בתחום הבינה המלאכותית, היכן ניתן להסב פתרונות קיימים, והיכן צריך לייצר מסגרת חדשה. מיפוי הייחודיות של בינה מלאכותית הוא קריטי לזיהוי האתגרים וההזדמנויות שעומדים לפתחנו בנושא.

בהתאם לכך, הפרק הראשון בדוח דן במאפיינים הייחודים של טכנולוגית הבינה המלאכותית אל מול טכנולוגיות אחרות שקיימות. בנוסף, הפרק דן בשאלות שטכנולוגיה שכזו מעלה בשלבים השונים של מחזור החיים שלה, אל מול הקשרים חברתיים, רגולטוריים וערכים אתיים שונים. במסגרת זאת, בשלב מוקדם של הדיונים בצוות המשנה, עלה כי יש חשיבות רבה לקיומו של שיח בינתחומי בנושא זה. במסגרת בחינה האם מדובר בתופעה חדשה המחייבת הסדר חדש, או שמא התאמה של כללים קיימים, יש חשיבות לגישור בין השדה הטכנולוגי, בין השדה של מדעי החברה, ובין השדה האתי-המשפטי בהתבוננות על השאלות.

העיסוק בהתמודדות עם המאפיינים הייחודים של טכנולוגיית הבינה המלאכותית נחלק לשני פרקים.

הפרק השני בדוח, הוא פרק המציע סדרה של **עקרונות אתיים**, שמטרתם לתת ביטוי לערכים חברתיים ואינטרסים מוכרים בעת התמודדות עם המאפיינים המיוחדים של הטכנולוגיה. הפרק מציע כלי שימושי שיאפשר למקבלי החלטות להבין ולהחליט היכן יש לפעול בתחום האתי, וסדרת שאלות שמקבלי ההחלטות הטכנולוגיים צריכים להיות מסוגלים לענות עליהן.

הפרק השלישי בדוח מציע סדרה של **עקרונות אסדרתיים**, שהצוות מציע לכלול בפיתוח המודל האסדרתי. המודל המוצע מקדם ערכים ראויים להגנה תוך צמצום תופעות לוואי של אסדרה ואחריות משפטית, שעלולות לפגוע בחדשנות. על מנת להדגים את השיח העקרוני וככלי עזר לקוראי הדוח, הוא כולל הדגמות של מקרים שבהם שולבה טכנולוגיה ואופן ההתמודדות המוצע איתה.

מה חדש ומיוחד בטכנולוגיית בינה מלאכותית?

בדיוני הצוות עלו העמדות והמסקנות הבאות אודות הייחודיות של מערכות הבינה המלאכותית לעומת טכנולוגיות מתקדמות אחרות:

1. הקצנה של יחסי גומלין שקיימים במערכות חברתיות

מערכות בינה מלאכותית נוטות להקצין יחסי גומלין קיימים במערכות חברתיות. למשל, אם קיים אי שוויון בין קבוצות שונות חברתיות, מערכות בינה מלאכותית עשויות לשעתק אי שוויון זה, ולעיתים אף להקצין אותו (הדבר נכון אף לאפליה, חיזוק סטריאוטיפים, פגיעה בזכויות, הקצנת דעות וכיו"ב. לשם הנוחות נדגים טענה זו על נושא אי השוויון). יש כמה סיבות מרכזיות לתופעה זו:

א. מכיוון שמערכות הבינה המלאכותית תלויות במידע המוזן להן, הנתונים המוזנים עשויים לשקף אי שוויון שקיים ממילא בין קבוצות, ובמידה ובמידע המוזן יש עיוות, המערכת תלמד ותעתיק עיוות זה.

ב. מערכות הבינה המלאכותית הופכות לשכיחות יותר, ונפוצות בהקשרים חברתיים רבים יותר. על כן ההשפעה שלהן (וכפועל יוצא ההטיות שעלולות להיות בהן) מגיעה לציבור רחב יותר.

ג. יש נטייה מוטעית להתייחס לתוצר של מערכות בינה מלאכותית, המנתחות מידע בקנה מידה גדול ובמהירות, כאמת מדעית. כתוצאה מכך, הסכנה היא שלא יופעלו לגבי מערכות אלו מנגנוני בקרה המופעלים על החלטות אנושיות זהות, כאשר יש חשד לעיוות.

ד. בשל מורכבות המערכת, קשה לצפות ולתקף מראש את ההתנהגות והפעולות של מערכות בינה מלאכותית. עקב כך קשה לעיתים להפריד בין אבחון "אמיתי" המבוסס על תהליך בדיקה ובקרה תקף, כפי שהדבר נעשה באלגוריתמים קלאסיים, או בהפעלת שיקול דעת מדעי אנושי, לבין אבחון שמקורו בהטיה.

^[1] 51 הגדרות של בינה מלאכותית צרה ומונחים נוספים ניתן לראות בנספח ב' של הדוח

^[2] 52 ראו https://www.hrw.org/report/2018/08/21/heed-call/moral-and-legal-imperative-ban-killer-robots , וכן ראו דיונים קודמים https://www.hrw.org/report/2016/12/09/making-case/dangers-killer-robots-and-need-preemptive-ban, https://www.hrw.org/report/2012/11/19/losing-humanity/case-against-killer-robots וגם http://hrp.law.harvard.edu/staff/clinic-and-hrw-killer-robots-fail-key-moral-legal-test/

^[3] 178 | המיזם הלאומי למערכות נבונות בטוחות - חלק ב' דוחות צוותי המשנה ורשימת משתתפי המיזם

2. האתגר התהליכי "להנדס" ערכים

מערכות בינה מלאכותית פועלות גם בתחומים שבהם ההחלטות ושיקול הדעת הופעל באופן מסורתי בידי גורם אנושי. במקרים רבים אותו בעל התפקיד המקצועי, אשר מפעיל את שיקול הדעת ומקבל את ההחלטה, הינו מיומן או מוסמך גם בהפעלת שיקולים ערכיים בהתאם להקשר. בעת פיתוח מערכות טכנולוגיות משולבות בינה מלאכותית, המחליפות שיקול דעת זה, האחריות לביטוי השיקולים הערכיים הללו עוברת מבעלי התפקידים המקצועיים (כגון, רופאים, שופטים וכד') לאנשים מתחום ההנדסה (כמו מהנדסים, מדעני מידע וכד'), דבר שפחות מתרחש בעת העיסוק באלגוריתמים קלאסיים.

3. סיכונים לפרטיות

המונח "פרטיות" הינו מונח רחב הזוכה להגדרות שונות. המכנה המשותף להגדרות אלה קשור, בין היתר, בזכות האדם "להיעזב במנוחה", בכיבוד האוטונומיה שלו ויכולתו לקבוע כיצד לפעול בענייניו. "פרטיות במידע" עוסקת בזכותו של האדם לשלוט או להשפיע על השימושים במידע אודותיו. במקרים רבים הפגיעה בפרטיות, שהיא פגיעה בפני עצמה, עשויה להיות מבוא לפגיעה בזכויות אחרות, כגון אפליה. בעידן המידע, שבו גורמים שונים ורבים אוספים מידע באופן שגרתי אודות יחידים, עולים אתגרים חדשים להגנה אפקטיבית על הזכות לפרטיות. אתגרים אלה באים לביטוי ביכולת לאסוף מידע כמעט ללא הגבלה, לעבדו ולהפיק ממנו תובנות חדשות אודות אדם שאינן קשורות בהכרח להקשר המקורי שבגיננו נאספו. בהמשך לכך אתגר נוסף הוא שכמויות מידע אלה מאפשרות יכולת ניתוח של מאפייני היחיד, באופן שמאפשר השפעה עליו, השפעה שעשויה להיות לא תמיד הוגנת. מערכות בינה מלאכותית מבוססות על עיבודי נתוני-עתק (big data), ממקורות שונים, לרבות הצלבה וחיבור של מידע, הנעשים לעתים תוך ניתוק מהמטרה ומההקשר המקורים שלשמן נאסף המידע. בנוסף, מערכות בינה מלאכותית מאפשרות הסקת מסקנות וביצוע פעולות המבוססות על מידע, באופן שמייצר סיכונים בהיקף וביאכות חדשים לזכות לפרטיות, וכך גם להגנה על האוטונומיה של הפרט.

4. מורכבות שפוגעת באמון הציבור

המורכבות והעמימות של מוצרים ושירותים שלובי בינה מלאכותית, מעוררות קושי ביצירת הבנה ואמון של קהלים רחבים הן בטכנולוגיה עצמה, בהבנה כיצד המערכת עובדת, והן בהשפעות של טכנולוגיה זו. חוסר הבהירות הזה מוביל במקרים מסוימים לחוסר אמון, אפילו בנושאים בהם מערכות הבינה המלאכותית מובילות ליתרון חברתי ועסקי. כך לדוגמה, בתחום המכוניות האוטונומיות ההערכה היא שכדי לרכוש את אמון הציבור במכוניות ללא נהג, כמות התאונות הקטלניות בהן מכוניות אלו מעורבות צריכה להיות פי 1000 קטנה יותר מאשר כמות התאונות הקטלניות בהן מעורבות מכוניות עם נהג.⁵³

פגיעה באמון הציבור בשימוש מסוים של בינה מלאכותית עלולה להוביל לפגיעה נרחבת יותר בכל התחום. ניסיון העבר מראה שאכזבה הובילה לשנים ארוכות של "חורף" בהן ההתקדמות בתחום נעצרה כמעט לגמרי. קבוצת המומחים HLEG באיחוד האירופאי טענה שאם הציבור לא יוכל לתת אמון במערכות בינה מלאכותית, הוא לא יאמץ אותן, וכתוצאה מכך יהיה הפסד ערך מוסף רב שיש למערכות להציע.⁵⁴

5. שינויים בתחרותיות בשוק והגדלת פערים בין חברות

אחד היתרונות של מערכות בינה מלאכותית היא היכולת שלהן להמשיך ולהשתפר עם השימוש בהן. לדוגמה מערכת להמלצה על תוכן מקבלת משוב מהמשתמשים על איכות התוכן עליו המליצה וכך היא יכולה לשפר המלצות עתידיות. כך יוצא, שחברה גדולה, המסוגלת לאסוף משוב ממספר רב של משתמשים, תשפר את המערכת שלה בקצב גבוה יותר מאשר חברה מתחרה בעלת נתח שוק קטן יותר. במילים אחרות, שחקנים בעלי כוח שוק, כאלה עם נתוני-עתק הנחוצים לפיתוח מערכות בינה מלאכותית, מנצלים כלכלת רשת על מנת לעצב את האופן בו שחקנים חדשים נכנסים לתחום. דבר זה עשוי להוביל למצב שבו הפער בין השחקנים הגדולים בשוק לבין מתחרים קטנים יותר גדל במהירות מה שמקטין את התחרותיות במשק. המצב אפילו מקצין כאשר בוחנים שחקנים חדשים הרוצים להתחרות בשוק – בהעדר כמות גדולה מספיק של נתונים להתחיל איתם, חברה כזו חסומה מלהיכנס לשוק.

6. שינוי בקטגוריות מוכרות לאחריות של יצרני מוצרים, ספקי שירותים, ועסקים הנשענים עליהם

מוצרים רבים משלבים כיום יכולות איסוף ועיבוד מידע, וקישור בין המוצר הפיזי ליכולת עיבוד מרוחקת, וזאת במסגרת המגמה הידועה כאינטרנט של הדברים – internet of things. יכולות האיסוף והעיבוד של מידע באמצעות מוצרים, מאפשר פיתוח שירותים חדשים הקשורים למוצר אולם למעשה, מעלים שאלות חדשות אודות האחריות לשירותים אלה, וחלוקת האחריות בין יצרן המוצר המספק את יכולת האיסוף ואספקת השירות, לבין מי שמספק את השירות בפועל.

בהמשך לכך, מוצרים שלובי בינה מלאכותית כוללים הן רכיב של מוצר פיזי, והן רכיב של חישוביות ויכולת פעולה. בכך החלוקה הקלאסית, שבין מוצר לשירות והאחריות למוצרים אל מול האחריות לשירותים, השתנתה ומחייבת בחינה מחודשת. מורכבות נוספת עשויה לקרות כאשר נעשה שימוש במוצרים ושירותים אלה כדי לספק שירות של גורמים עסקיים אחרים. כך למשל, שימוש ברחפן אוטונומי בידי רשת מרכולים בכדי לספק משלוחים לבתי הלקוחות. הרחפן מבוסס על יכולות תעופתיות, יכולות ניווטיות והתמודדות עם הסביבה. בנוסף, הרחפן מספק שירותי מיפוי וחיזוי. כל אלה נרכשים בידי רשת מרכולים, אשר השירות שהרשת מציעה הוא משלוח.

פרק 2 - אתיקה ובינה מלאכותית

לאור האתגרים וייחודיות של טכנולוגיות בינה מלאכותית קבוצת מומחים וחברות שונות פרסמו בשנים האחרונות מסמכי מדיניות והצעה לכללי אתיקה. כך למשל קבוצת המומחים באיחוד האירופאי, HLEG, קבעה כי לא ניתן להשיג אמון במערכות הבינה המלאכותית רק באמצעות רגולציה, וכי ניתן ליצור בינה מלאכותית אמינה על ידי בחירת המסגרת האתית המתאימה והטמעתה בצורה נכונה.⁵⁵

לצד זאת, יש לזכור כי מדינות רבות נמצאות כיום במרוץ לבכורה בתחום הבינה המלאכותית.⁵⁶ האתגר של שימור יכולת תחרותית של מדינות מערביות הפועלות במסגרת דמוקרטית, ערכית ואתית, אל למול מדינות שבהן המסגרת הערכית שונה, מחריפה בתחום הבינה המלאכותית. מהלכים אלה מקודמים גם בזירות בינלאומיות שונות.⁵⁷ בישראל רשות החדשנות מצביעה על החשיבות בהשקעה תשתיתית בתחום זה, כמאפשרת צמיחה והובלה, וכן מודעות לחשיבות של מסגרת אתית ומשפטית ברורה שתמנע אפקט מצנן על החדשנות.⁵⁸ לאור תהליכים עולמיים אלו:

הצוות מאמין כי שמירה על מערכת עקרונות אתיים על פיהם יפעלו ארגונים פרטיים והסקטור הציבורי, היא קריטית לטווח ארוך

כמו כן, הצוות קורא לבנות תכניות של ידע והכשרה לאתיקה של אנשי המקצוע העוסקים בפיתוח מערכות בינה מלאכותית. הרעיון הוא ללמד את בעלי התפקידים השונים בתחום את הדילמות האתיות על מנת שהם יוכלו להעלות את הבעיות האתיות עוד בשלבים המוקדמים של הפיתוח ולתת להם מענה. כלומר, להטמיע כבר בתכנון ובפיתוח המערכת את שיקולי האתיקה. נושא זה אינו בתחום העיסוק של הצוות, ועל כן לא פירטנו עליו מעבר לקריאה להכשיר ולחנך.

על רקע הנעשה בעולם, ולנוכח האתגרים שמייצרת טכנולוגיית הבינה המלאכותית, הצוות זיהה את העקרונות הבאים כבסיסי האתיקה בתחום הבינה המלאכותית, כחלק מהכלי שניציע למקבלי החלטות בתחום לעיצוב הבינה מלאכותית ולשימוש בה. מובן כי נדרש שיח רציף בין אנשי הטכנולוגיה, מדעי החברה והמשפט לעדכון ולבחינת ההתאמה של המסגרת האתית. עקב כך

Ibid. Ethical Guidelines for Trustworthy AI, 2019 55

56 מ ראו למשל את הצו הנשיאותי של ארה"ב מה-11.2.2019 בנושא מובילות בתחום הבינה המלאכותית שקובע שיש לפתח וליישם תכנית פעולה על מנת לשמור על היתרון היחסי של ארה"ב אל מול מדינות אחרות בתחום. כמו כן, ראו הדוח של ממשל צרפת מ-2018 שנכתב ע"י סדריק וילאני - <https://www.aiforhumanity.com/> https://publications.parliament.uk/pa/ld201719/ldselect/fr/pdfs/MissionVillani_Report_ENG-VF.pdf , והדוח של ממשלת בריטניה משנת 2018 - <https://flia.org/notice-state-council-issuing-new-generation-artificial-intelligence-development-plan> <https://www.oecd.org/going-digital/ai/principles/> <https://innovationisrael.org.il/InnovationRapport18> <https://www.oecd.org/going-digital/ai/principles/> <https://flia.org/notice-state-council-issuing-new-generation-artificial-intelligence-development-plan> <https://www.oecd.org/going-digital/ai/principles/> <https://innovationisrael.org.il/InnovationRapport18>

57 ראו את הדוח של ה-OECD המקדם המלצות למדינות החברות לקדם את הפיתוח והשימוש בטכנולוגיית בינה מלאכותית באופן שיקדם את הרווחה החברתית - <https://www.oecd.org/going-digital/ai/principles/>

58 דו"ח רשות החדשנות 2018-2019 <https://innovationisrael.org.il/InnovationRapport18>

Shalev-Shwartz Shai, Shanmmah Shaked and Shashua Amnon, 2018, On a Formal Model of Safe and Scalable Self-driving Cars, ArXiv, <https://arxiv.org/pdf/1708.06374.pdf>

Ethical Guidelines for Trustworthy AI, The High-Level Expert Group on Artificial Intelligence, EU, 2019, <https://ec.europa.eu/futurium/en/ai-alliance-consultation>

יש להתייחס להמלצות מטה כמשקפות את ניסיונם של חברי הצוות לסכם את הדברים כפי שהם מובנים בעת כתיבת הדוח.

2.1 עקרונות אתיים בבנייה מלאכותית:

1. הוגנות – חתירה לשוויון מהותי, מניעת הטיות (במידע, בתהליך, בתוצר), מניעת הפליה, והימנעות מהגדלת פערים חברתיים, כלכליים והשכלתיים.

2. אחריותיות (Accountability)

א. שקיפות – הנגשה, בהתאם להקשר ולנסיבות, של מידע על התהליך עצמו ועל דרך קבלת ההחלטה.

ב. הסברותיות – הסבר הפעולה וההחלטה - היכולת להסביר את תהליך קבלת ההחלטה של המערכת (ברמת המשתמשים כפרטים, גם ברמת הכלל אם המערכת משפיעה על קבוצות, וגם עבור מפעילי המערכת עצמם).

ג. אחריות וניהול סיכונים – חלוקת האחריות האתית והמשפטית לגורמים הרלבנטיים בשרשרת הערך, וחלוקת ניהול הסיכונים ביניהם. קביעת האחריות ליצירת כללים לאמצעים סבירים למניעת הסיכון בהתאם להקשר ולעוצמת הסיכון הצפוי, לניהול הסיכונים ולמינויו של גורם אחראי לניהול הסיכונים.

3. כיבוד זכויות אדם והגנה עליהן – כיבוד כלל זכויות האדם ומודעות לצורך הגובר בהגנה על זכויות מסוימות שעלולות להיפגע יותר בעידן הבינה המלאכותית וביניהן:

א. שמירה על שלמות הגוף – הגנה מפני פגיעה בחייו או בגופו של אדם.

ב. פרטיות – הגנה על פרטיות, לרבות מניעת פגיעה בפרטיות באמצעות איסוף המידע, ניתוח ועיבוד המידע, שיתוף המידע ובשימושים אחרים וחדשים בו.

ג. השמירה על האוטונומיה – שמירה על יכולתו של אדם לקבל החלטות תבוניות, ובין השאר, מניעת השפעה שאינה הוגנת או אינה מודעת על התנהגות היחיד.

ד. זכויות אזרחיות ופוליטיות – לרבות הזכות לבחור, הזכות לחופש הביטוי והזכות לחופש הדת והמצפון.

4. הגנת סייבר ואבטחת מידע – שמירה על התפקוד התקין של המערכות, הגנה על המידע המשמש אותן ומניעת שימוש לרעה בידי גורם זדוני.

5. בטיחות - מניעת סכנה (לפרט, לחברה) וצמצום גרימת נזק.

א. בטיחות "פנימית" התמקדות בבטיחות תהליך הפיתוח של כלי הבינה המלאכותית.

ב. בטיחות חיצונית – התמקדות בסכנה והנזק עבור הסביבה והלקוחות, כתוצאה מהשימוש.

6. קיום שוק תחרותי – שמירה על שוק תחרותי ועל כללי משחק מאפשרים.

דוגמאות לסיכונים ערכיים אתיים במערכות:

1. הוגנות

- המערכת מקבלת החלטות על הקצאת משאבים כגון חלוקת כספים ומתן טיפול רפואי.
- המערכת מעריכה אנשים לצורך קבלה למקום עבודה או מוסד חינוכי, קידום וכו'.
- המערכת מעריכה אנשים למטרות ענישה או הקלה בענישה.
- המערכת מקבלת החלטות שפוגעות ברכוש ובאינטרסים כלכליים של משתמשים.

2. אחריותיות

- המערכת לא מנגישה מידע למשתמש על דרכי פעולתה מול המשתמש.
- חלוקת האחריות במקרה של תקלה לא מוסדרת.

3. כיבוד זכויות אדם והגנה עליהן

- המערכת אוספת מידע אישי עם או בלי הסכמת המשתמשים.
- נעשה שימוש במידע אישי בפיתוח המערכת.
- המערכת מייצרת מידע אישי (לדוגמה מערכת זיהוי פנים שמאפשרת מעקב אחר אנשים).
- המערכת יכולה להשפיע על תפיסת העולם של המשתמשים.
- המערכת מסננת מידע או מייצרת מידע שיוצאם אישית אל המשתמש על בסיס נתוניו האישיים (targeting) או ש"ייתפר" באופן ייחודי עבור המשתמש מבלי שהוא יוכל לדעת מהו המידע שניתן לאחרים.

4. הגנת סייבר ואבטחת מידע

- אם גורמים זדוניים יצליחו לפרוץ למערכת הם יוכלו לגרום לנזק בגוף, נזק לנפש, נזק כלכלי או לפגוע בביטחון המדינה.

5. בטיחות

- המערכת יכולה לגרום למוות או פגיעה גופנית במשתמשים או באנשים אחרים.
- תקלה במערכת יכולה לגרום למוות או פגיעה גופנית במשתמשים או באנשים אחרים.

6. קיום שוק תחרותי

- המערכת מייצרת יתרון למתחרים בעלי נתוני ענק.
- המערכת מבוססת על מאגר מידע גדול שנגיש רק למספר קטן של שחקנים בשוק.
- המערכת מייצרת תוך כדי פעולתה מאגר מידע גדול וייחודי, שלא יהיה נגיש למתחרים.
- הסכם אי-תחרות ותיאום אוטומטי בין חברות מתחרות המבוסס על מערכות בינה מלאכותית.

להלן נפרט בקצרה עקרונות אלה, כפי שעלו במסמכי מדיניות שונים הן בסקטור הציבורי והן בסקטור הפרטי. חלק מעקרונות אלה מפורטים במסגרת מסמכי מדיניות של יצרניות הטכנולוגיה עצמן, כחלק ממגבלות עצמיות שהטילו. האמור מלמד כי בשיח שבין ערכים לחדשנות חברות אלה מודעות לצורך בקיום איזון כאמור, ואף מציעות נקודות איזון מיוזמתן.

2.1.1. הוגנות

טכנולוגיה איננה ניטרלית, וזאת מפני שהיא מבוססת על עבודת תכנות אנושית ועל אינטרסים מסחריים שונים. כמו כן מערכות הבינה המלאכותית מבוססות על מידע הקשור בהתנהגות אנושית, העשוי לשקף ולהקצין הטיות חברתיות מסוגים שונים. מסמכי מדיניות שונים ניסו להגדיר מהי הוגנות בהקשר זה, וכיצד ניתן לשמור עליה.

כך, למשל, חברת מיקרוסופט מגדירה הוגנות כיחס הוגן ומאוזן לכל אדם, תוך מתן יחס דומה לקבוצות שונות.⁵⁹ חוסר ההוגנות עלול להתרחש בשלבים שונים של הפיתוח. יש למשל לתת ייצוג לכל האוכלוסיות במסדי הנתונים ולהימנע מהטיות של מגדר או גזע. חוסר הגינות עלול להיות גם העובדה שהציבור לא מודע למגבלות הבינה המלאכותית ומניח כי החלטותיה תמיד טובות יותר ומבוססות יותר. היבט נוסף שניתן לכלול תחת עקרון ההגינות הינו שמערכות הבינה המלאכותית יעצימו את כלל הקבוצות באוכלוסייה ולא רק קבוצה מסוימת. מעבר לייצוגיות במסדי הנתונים, מיקרוסופט ממליצה אף לגוון את צוות הפיתוח והמחקר כדי לשתף מגוון רב של אוכלוסיות בתהליך עצמו.⁶⁰ בדוח של ממשל צרפת מצוין כי אין לתת לטכנולוגיות בינה מלאכותית ליצור דרך חדשה למידורן של אוכלוסיות שונות. זו היא לדעתם, בבחינת דרישה דמוקרטית שכן מערכות הבינה המלאכותית הן המפתח לעתיד ולכן יש לאפשר לכלל הציבור ליהנות ממערכות אלה. על מנת לנסות להימנע מהטיות מובנות, דוח זה ממליץ להשקיע בין השאר מאמצים בגיוון האוכלוסיות של מפתחי טכנולוגיה, ובתוך כך לקדם נשים רבות יותר לעסוק בתחום. בנוסף הדוח קורא לממשל לתמוך בפיתוח בינה מלאכותית לתועלת החברה.⁶¹

חברת IBM מזהירה כי ההטיות השונות הקיימות בקרב האנשים המפתחים את התוכנה עלולות להיכנס לעיצוב המערכות. החברה טוענת כי זו אחריות הצוות המפתח לדאוג למזעור ההטיות על ידי מחקר מתמשך ואיסוף מידע המייצג את כל סוגי האוכלוסיות. על הצוות לפתח את המערכת ללא הטיות מכוונות ולבחון את המערכת על מנת לאתר הטיות שאינן מכוונות. בעת שמגלים הטיות, על הצוות המפתח לחקור מדוע היא נוצרה ולתקן אותה. כמו כן מציעה החברה ליצור ערוץ תקשורת למשוב המשתמשים, בו יוכלו לדווח על הטיות שהתגלו במערכת.⁶²

לסיכום, על מנת לצמצם תוצר של טכנולוגיה מפלה או מוטה, יש ללמוד באופן פעיל על אוכלוסיית היעד, ולזהות מבעוד מועד אוכלוסיות שעלולות להיפגע, או להיות מיוצגות באופן לא מספק על-ידי מפתחי המערכת. לאור זאת, הצוות רואה חשיבות רבה בהיוועצות עם מומחי תוכן (domain experts) המתמחים בספרות החברתיות המסוימות בהן מבקשים לשלב מערכת AI. בדומה, היוועצות עם אנשים מאוכלוסיית היעד עצמה (באמצעות מחקר קצר-היקף) יכולה לסייע ליצור מערכת הוגנת יותר. למשל, אם מדובר בשילוב מערכת AI בביטוח הלאומי, מומלץ לדבר עם פקידי הביטוח הלאומי, אך גם עם מומחים מהאקדמיה ומחוצה לה (עובדים סוציאליים, סוציולוגים, אנתרופולוגים), שמבינים בסעד, בעוני, באי שוויון ועוד. בדומה, כדאי גם להיוועץ במקבלי קצבאות שיושפעו כפועל מהטמעת המערכת. הרעיון הוא לא לשמוע מה דעתם אודות הטמעת המערכת, אלא להבין טוב יותר את הצרכים שלהם, ואת האתגרים שהטמעת מערכת כזו עלולה לעורר.

2.1.2. אחריותיות:

2.1.2.א. שקיפות

הצוות רואה בשקיפות ערך אתי מרכזי בפיתוח טכנולוגיה בכלל, ובפיתוח מוצרים שלובי בינה מלאכותית בפרט. שקיפות היא ערך בפני עצמו ביחוד במשטר דמוקרטי ומרכיב של אחריותיות מצד העוסקים בתחום. בנוסף, השקיפות היא גם כלי להשגה ולשמירה על ערכים אתיים אחרים כגון הוגנות והעדר הפלייה בתהליך. יתר על כן, שקיפות היא מרכיב מהותי ברכישת האמון של הציבור. בדוח וועדת המומחים באיחוד האירופאי לא היתה תמימות דעים לגבי משמעות הערך. לעיתים התייחסו למונח שקיפות כחלק משלבי הפיתוח והוצע לחשוב על דרגות שקיפות כתלות בקהל היעד, ולעיתים התייחסו לשקיפות כהסבר וכפירוש בלבד. אנו מפרידים בין המונח שקיפות לבין המונח הסברותיות. בעוד ששקיפות מדברת על גישה למידע כיצד התהליך פועל ומהם מרכיביו השונים, ההסברותיות מסבירה את הפעולה עצמה ואת התהליך בו התקבלה.

בדוח האיחוד האירופאי המליצו על שלוש רמות של דיווחים: 1. רמת מיקרו של אנשים, חוקרים ומקצוענים; 2. רמת מאזן – של מוסדות ציבוריים, חברות ואוניברסיטאות; 3. רמת מאקרו – של פוליטיקאים ודרך הדיווח שלהם לאזרחים. הקבוצה גם המליצה לשקול שקיפות לקבוצות מיוחדות, כמו אנשים עם מוגבלויות, שיעשו שימוש רב בטכנולוגיות בינה מלאכותית.⁶³

עפ"י דוח האיחוד האירופאי ההבנה כיצד המערכת פועלת (שקיפות והסברה) היא חשובה על מנת ליצור אמון עם מערכות הבינה המלאכותית. לאור זאת, לדעתם יש להשקיע בשקיפות, בחינוך ובהסברה. מתבקש כי מוצר משולב בינה מלאכותית ידגיש את היתרונות הרבים הטמונים בשימוש בבינה מלאכותית, וכי רמת ההסבר צריכה להיות דומה להסבר שאנשים מקבלים מנותני השירות הרלוונטיים בתחום. צריך להסביר מדוע המערכות בטוחות לשימוש – ולאחר שהציבור יבין כיצד טכנולוגיה זו פועלת, גם מבלי להבין לעומק את דרך הפעילות, ניתן יהיה לרכוש את אמון הציבור במוצר ובמפתחים. האמון צריך ללוות את מערכת הבינה המלאכותית לאורך כל מחזור החיים של המערכת ולא רק בשלב הייצור, מכיוון שהמערכת צפויה להשתנות עם הזמן מעצם טבעה.

2.1.2.ב. הסברותיות

הסברותיות עוסקת בהסבר הפעולה וההחלטה, דהיינו העלאת מודעות הציבור לדרך הפעולה של המערכת באמצעות מתן הסברים מדוע המערכת הכריעה כפי שהכריעה - גם ברמת הפרט וגם ברמת הכלל.

דוח חברת IBM גורס כי ככל שטכנולוגיית הבינה מלאכותית תשולב במערכות השונות של החיים יהיה צורך גובר ועולה להסביר את הליך קבלת החלטות של המערכת באופן שיהיה ברור למשתמשי הקצה. כך גם, המשתמש צריך לדעת כי יצר קשר עם מכונה ולא עם אדם, וכי יהיה ברור בכל שלב שהוא יכול לשאול את המערכת מדוע היא פועלת כפי שהיא פועלת. הממשק לבירור השאלות צריך להיות נגיש למשתמש בכל שלב. הליך העיבוד של המידע על ידי המערכת צריך להיות ניתן לבחינה ולבקרה בעיקר אם מדובר בעיבוד מידע רגיש. בכל מקום בו המערכת מסייעת לאדם להחליט החלטות רגישות, על המערכת להיות מסוגלת להסביר את המלצתה, לבסס אותו על המידע הרלוונטי והרעיון שעומד מאחורי ההמלצה.⁶⁴ גם דוח חברת מיקרוסופט מצטרף להמלצות דומות.⁶⁵ בדוח האיחוד האירופאי דנו בנוסף בעקרון המידע המאוזן – לפיו יש לתת מידע מספיק ולא מפורט מדי. החשש הוא שמידע מפורט יהיה בלשון מקצועית, שאינה בהירה או ברורה לציבור הרחב, וכתוצאה מכך ישיג את התוצאה ההפוכה.⁶⁶ ולבסוף, גם חברת גוגל קבעה כי על מערכות הבינה המלאכותית להיות מעוצבות באופן בו תוכלנה לתת הסברים רלוונטיים ואף להיות פתוחות לערעור על ההחלטה. על פי הצהרה זו המערכות תהינה נתונות להדרכה ולפיקוח אנושיים.⁶⁷

63 Ethical Guidelines for Trustworthy AI, The High-Level Expert Group on Artificial Intelligence, 2019, <https://ec.europa.eu/futurium/en/ai-alliance-consultation>

64 Cutler Adam, Pribic Milena and Humphrey Lawrence, 2018, Everyday Ethics for Artificial Intelligence, IBM. <https://www.ibm.com/watson/assets/duo/pdf/everdayethics.pdf>

65 The Future Computed - Artificial Intelligence and its role in society, Microsoft, 2018, pp. 58-59 https://blogs.microsoft.com/uploads/2018/02/The-Future-Computed_2.8.18.pdf

66 Ibid. Ethical Guidelines for Trustworthy AI

67 /Pichai Sundar, 2018, AI At Google: Our Principles, <https://www.blog.google/technology/ai/ai-principles>

59 The Future Computed - Artificial Intelligence and its role in society, Microsoft, 2018, pp. 58-59 https://blogs.microsoft.com/uploads/2018/02/The-Future-Computed_2.8.18.pdf

60 שם, עמ' 68

61 https://www.aiforhumanity.fr/pdfs/MissionVillani_Report_ENG-VF.pdf

62 Cutler Adam, Pribic Milena and Humphrey Lawrence, 2018, Everyday Ethics for Artificial Intelligence, IBM. <https://www.ibm.com/watson/assets/duo/pdf/everdayethics.pdf>

חברת IBM, למשל, הדגישה במדריך שפרסמה את הצורך לפתח את מערכת הבינה המלאכותית בהתאם לנומרות ולערכים של המשתמשים הפוטנציאליים. לשם כך, המליצה, שעל הצוות המפתח את המערכת להבין את התרבות ואת ערכיה, ועל כן המליצה להשתמש בצוותים אינטרדיסציפלינריים מתחומים שונים (לדוג' מהאקדמיה, מהעולם העסקי והטכנולוגי) וחוקרי עיצוב תוכנה על מנת לוודא כי אכן ערכיהם של המשתמשים משתקפים בתוכנה⁷⁵. במקביל, נתן מטיאס מה-MIT Media Lab הציע כי יש לבחון ביסודיות שימוש בטכנולוגיה העלולה להשפיע (לגרום לנזק או לגרום לתועלת) על חיים או חירות כלשהי, וכי תוצאות המבחנים יהיו פומביים לעיון הציבור⁷⁶.

חברת גוגל הדגישה את השימוש הדו-מהותי שניתן לעשות בטכנולוגיות בינה מלאכותית. על מנת למזער שימושים שאינם לטובת האנושות, הבטיחה החברה לקחת בחשבון את השיקולים הבאים בעת פיתוח טכנולוגיות בינה מלאכותית: א) השימוש המרכזי והעיקרי של הטכנולוגיה החדשה; ב) האם לטכנולוגיה השלכות נרחבות; ג) האם הטכנולוגיה ייחודית או שכיחה. בנוסף, חברת גוגל התחייבה שלא לקחת חלק בפיתוח טכנולוגיות אשכולות נזק רחב היקף; מערכות נשק שמטרתן לפגוע או לייצר פגיעה באנשים; טכנולוגיות שאוספות או עושות שימוש במידע לצורכי מעקב, הפוגעות בנומרות בינלאומיות מקובלות; ולא לקחת חלק בפיתוח טכנולוגיות שנוגדות עקרונות מקובלים של הדין הבינלאומי וזכויות אדם. גוגל התחייבה לפתח טכנולוגיית בינה מלאכותית רק במקרים בהם התועלת המצרפית של הטכנולוגיה עולה על הסיכונים האפשריים והחסרונות. כך, התחייבה החברה, במקרים המתאימים, לבחון את טכנולוגיית הבינה מלאכותית בסביבה מבוקרת ומוגבלת ואף לעקוב אחר כל צעד בהטמעת המערכת בסביבה הפתוחה לאחר מכן⁷⁷.

בתוך כך, יש גם לחשוב על יצירת מעבדות או סביבות מוגנות אחרות בהן ניתן לבחון את ההשלכות של הבינה מלאכותית, תוך מזעור סיכונים אפשריים, למשל במעבדות בהם ניתן לבחון בינה מלאכותית חדשנית כמו TeraLab. גם בצרפת המליצו להקים ארגז חול לחדשנות (Innovation Sandboxes), מתחם מוגן, בו ניתן יהיה להטמיע את מערכות הבינה מלאכותית הניסיוניות ולבחון את דרך פעולתן ואת השפעתן על המערכת האקולוגית בתנאים מבוקרים, על מנת לאפשר חדשנות בתחום⁷⁸. בדומה המליצו בדוח שמואל נאמן הראשון להקים אתרי מבחן Testbeds⁷⁹.

האחריות היא הצלע השלישית של אחריותיות, והיא דנה בהסדרת וחלוקת האחריות האתית והמשפטית לאור אמות מידה של סיכון או נזק. הסדרה שכזו תכיל בין השאר את הנסיבות שבהן תוטל אחריות ועל מי, בהתייחס לשלבי התכנון, הפיתוח, ההשקעה, השיווק, ההטמעה והשימוש בטכנולוגיה – וזאת על מנת שיהיה ברור מה הם גבולות האחריות של הגורמים השונים. נושא האחריות הוא מורכב וכולל בעלי עניין שונים: מערכות אוטונומיות (רובוטים למשל) המפתחים, המשתמשים, היצרנים ועוד.

מורכבות חלוקת האחריות מחריפה בייחוד כאשר הבינה המלאכותית מהווה כיועץ-שותף להכרעה. כך, למשל, בינה מלאכותית המשולבת בבתי חולים ומטרתה להחליף או לסייע לרופאים. כיצד אמורה האחריות המשפטית להתחלק בין אנשי המקצוע (domain-experts) לבין הבינה המלאכותית במצבים שונים⁶⁸? על פי טיוטת העקרונות האתיים של האיחוד האירופאי, יש לעצב את המערכת בדרך בה ניתן יהיה לעקוב בצורה מבוקרת אחרי החלטות המתקבלות לאור הקלט, הנתונים, המודלים לפני הליך האימון וכיו"ב. יתר על כן, יש להגדיר שיטות הסברתיות של מערכת הבינה מלאכותית⁶⁹.

חברת IBM החליטה לנקוט בעמדה נוקבת, הגורסת שמפתחי בינה מלאכותית אחראים על עיצוב הטכנולוגיה, ועל תהליך קבלת ההחלטות ועל התוצאות. על כן, לדעת החברה, יש לקבוע מדיניות ברורה בנוגע לחלוקת האחריות. כך גם יש להבהיר היכן מסתיימת האחריות. יש גם לחייב תיעוד של הליך הפיתוח וקבלת ההחלטות שכן התיעוד מעודד את השמירה על הכללים המשפטיים והאתיים⁷⁰. לדעת חברת מיקרוסופט, על מי שמפתח מערכת בינה מלאכותית להיות אחראי לדרך בה היא פועלת. מינויו של גוף בוחן פנימי יכול לבדוק את נושא האחריות מעת לעת ולהעניק הכוונה מתאימה לחברה⁷¹.

באיחוד האירופי הציעו לחשוב על קביעת סעדים ופיצויים ועל קביעת גורם שניתן יהיה להתלונן בפניו על בעיות. הנחת היסוד שלהם היא שהגדלת האמון תלויה בידעה שאם משהו לא יעמוד בכללים – הוא ייתן על כך את הדין⁷².

2.1.3 כיבוד זכויות אדם והגנה עליהן

הצוות רואה בהגנה על כלל זכויות האדם כדבר חשוב ביותר, ביחוד הגנה על זכויות שעלולות להיפגע יותר בעידן הבינה המלאכותית, ובעיקר פרטיות, שמירה על האוטונומיה, זכויות פוליטיות ואזרחיות. לטכנולוגיית הבינה מלאכותית עלולות להיות השלכות רבות על המרחב האישי, האוטונומיה של הפרט וזכויות האדם הקשורות בכך. חלקן אין ביכולתנו עדין לצפות. בצו הנשיאותי בארצות הברית, שניתן בפברואר 2019, הוצהר כי על ארצות הברית לשמר את אמון הציבור בבינה מלאכותית ואף לשמר את הביטחון של האנשים בטכנולוגיה זו. בתוך כך על טכנולוגיה זו להגן על חירויות אזרחיות, על פרטיות ועל ערכים נוספים של התרבות האמריקאית⁷³.

הדגש בחלק זה הינו החשיבות של המודעות לפוטנציאל ההשפעות של מוצרי בינה מלאכותית, וקיומו של שיח רציף, מונחה ערכים וסיכונים, בין מובילי הידע השונים הקשורים בקידום הנושא לבין מפתחי המוצרים. הצוות סבור שקיומו של שיח רציף כשלעצמו מקדם את ההיתכנות של הטמעת ערכים באופן מאוזן וכזה שעומד בדרישות האחריות הכלליות של החברה.

האיחוד האירופאי קבע כי על מנת שניתן יהיה לבטוח בבינה-מלאכותית, על מוצרים מבוססי בינה מלאכותית לכבד את זכויות היסוד, הרגולציות, הערכים החברתיים ועקרונות הליבה של החברה. כל זאת יש לעשות תוך שמירה מתמדת על כוונה אתית לעשות טוב, הימנעות מכוונה לשימוש לרעה ושמירה על אוטונומיה של האנשים, על הצדק ועל היכולת להסביר את הפעולות. בנוסף, על הטכנולוגיה להיות בשליטה, שכן גם כוונות טובות עלולות לגרום לנזק בלתי צפוי. האיחוד האירופאי טוען כי התייחסות לאדם, לזכויות שלו חייבות להיות משולבות בפיתוח ובעיצוב מערכת הבינה המלאכותית מראשיתה, לרבות בעת בחירת צוות הפיתוח. כך גם יש לשים דגש על המצבים בהם מעורבות אוכלוסיות פגיעות כמו ילדים, אנשים עם מוגבלויות, מיעוטים או מצבים בהם יש פערי-כוחות בין כותבי המערכת למשתמשים שלה. יש תמיד לזכור, כי לצד היתרונות הגדולים הטמונים בטכנולוגיה

Karni Chagal, 2018, The Reasonable Algorithm, Journal of Law, Technology and Policy, Forthcoming. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3095436

.Ibid. Ethical Guidelines for Trustworthy AI, EU, 2018 68

Ibid. Cutler, Pribic and Humphrey, 2018 70

.Ibid. The Future Computed, 2018, p.73 71

.Ibid. Ethical Guidelines for Trustworthy AI, EU, 2018 72

Executive Order on Maintaining American Leadership in Artificial Intelligence, 2019, <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/executive-order-maintaining-american-leadership-artificial-intelligence/>

.Ibid. Ethical Guidelines for Trustworthy AI, EU, 2018 74

Rossi Francesca, Anna Sekaran, Jim Spohrer, and Mike Monteiro. 2018. Everyday Ethics for Artificial Intelligence, IBM, <https://www.ibm.com/watson/assets/duo/pdf/everdayethics.pdf>

Matias Nathan, 2016, <https://medium.com/mit-media-lab/the-obligation-to-experiment-83092256c3e9> 76

Ibid. Pichai, 2018 77

Villani Cedric, 2018, For a Meaningful Artificial Intelligence, https://www.aiforhumanity.fr/pdfs/MissionVillani_Report_ENG-VF.pdf 78

שם. גץ ואחרים, 2018, עמ' 91.

2.1.3. א. פרטיות

נושא הפרטיות נדון רבות בהקשר של מערכות בינה מלאכותית, וזאת משום היותן מבוססות, במידה רבה על מידע אודות אנשים או הסקת מסקנות אודות אנשים באמצעות מידע אישי. דיני הגנת הפרטיות מסדירים את אופן איסוף עיבוד ושימוש במידע אישי. מידע אישי מוגדר כמידע אודות אדם מזוהה או מידע שניתן לזהות ממנו את האדם. דיני הפרטיות מקנים זכות תביעה אישית למי שפרטיותו נפגעה, וכן הם כוללים עיסוק רגולטורי "מסדיר" מקיף בהתאם ל- "עקרונות עיבוד מידע" מקובלים בעולם כלפי מי שאוסף ומעבד מידע אישי. מטרתם של עקרונות אלה לאפשר שימוש במידע אישי למטרות ציבוריות ועסקיות לגיטימיות תוך צמצום הסיכון לפרטיות אדם כתוצאה מכך. עקרונות עיבוד מידע מקובלים מבוססים על מסמכים מקובלים של ה-OECD, אולם הם גם מושפעים מהסביבה החוקתית והחברתית החלה במדינה בה הם מיושמים.

בישראל הזכות לפרטיות היא זכות יסוד המעוגנת בחוק יסוד: כבוד האדם וחירותו, והיא אף נתפסת, כחלק מהזכות לאוטונומיה של אדם, בהיותה מגנה על המרחב האישי שלו. במסגרת זו לדיני הפרטיות מטרה לגונן מפני שימושים אסורים במידע אישי.

בנוסף, תפיסת המימוש של דיני הפרטיות בתחום עקרונות עיבוד המידע מצויה בהתפתחות ניכרת בשנים האחרונות, שבמרכזה המגמה האירופאית בחקיקה הידועה כ-GDPR (General Data Protection Regulation). עקרונות עיבוד מידע מקובלים כוללים את הצורך בבסיס חוקי לאיסוף ועיבוד מידע (בדרך כלל הסכמה או בסיס חוקי אחר), הגבלת מטרת השימוש למטרה לשמה התקבל המידע, זכות עיון ותיקון במידע הנאסף, שקיפות כלפי נושא המידע, וחובה להגן על המידע. במשטרים מתקדמים יותר, כגון ה-GDPR, עקרונות מפורטים יותר הכוללים את החובה לעצב את המערכות הטכנולוגיות על מנת להגן על הזכות לפרטיות, הזכות להעביר מידע אישי בין ספקים, הזכות למחוק מידע.

משטרי הגנת הפרטיות נדרשים להתמודד כיום עם האתגר המשמעותי הנובע מהפער שבין חשיבותה העקרונית של ההסכמה לאיסוף מידע ושימוש בו, לבין המציאות הטכנולוגית כלכלית שברוב המקרים ההסכמה מבוססת על "הסכמים אחידים" שיש חשש שאינם מממשים את תכלית ההסכמה. מורכבות זו משפיעה גם בתחום הבינה המלאכותית בשל היותו מבוסס עיבודי מידע, היתוכי מידע, והפקת מידע ותובנות על בסיס מידע אישי.

החברות הגדולות מתייחסות לפרטיות באופן נרחב בהקשר של בינה מלאכותית. כך, למשל, חברת גוגל הצהירה כי היא מתחייבת לפתח את מערכות הבינה מלאכותית שלה תוך שמירה על עקרונות הגנת הפרטיות. בתוך כך, הדגישה גוגל כי ישם דגש על הודעה והסכמה לפגיעה, יעודדו תשתיות עם שמירה מובנית של פרטיות וכן תהיה שקיפות ויכולת לשלוט על השימוש שנעשה במידע⁸⁴. חברת אינטל מסבירה שקיים פרדוקס מסוים – על מנת שניתן יהיה לגלות הטיות או סיכונים סייבר ולשמור על פרטיות המידע, יש צורך שמערכת הבינה מלאכותית תעבד מידע אישי. כלומר, יש לתת את הדעת כיצד ניתן מצד אחד למזער את הפגיעה בפרטיות ומצד שני לא לפגוע בתוך כך יתר על המידה בהגנה על המידע⁸⁵. בנייר מדיניות נוסף הביעה אינטל את הצורך בפיתוח מחקר בתחום בינה מלאכותית ובין היתר לחשוב מחדש על פרטיות בעידן הנוכחי ולבחון האם עקרונות העבר וההווה כמו פרטיות בעיצוב (Privacy by Design) רלוונטיים בעידן הבינה המלאכותית⁸⁶.

אף במדריך של חברת IBM מציינים כי על הצוות המפתח מוטלת האחריות להשאיר למשתמש את היכולת לשלוט על ההתקשרויות שלו ועל המידע שלו. במדריך מציינים כי כבר כיום, לאור סקרים שבוצעו במדינות שונות, אנשים מדגישים את החשיבות של השליטה במידע שלהם ואת החשיבות להגנת הפרטיות במידע שלהם. צורך זה רק יתעצם עם שילוב מערכות הבינה מלאכותית. בהתאם החברה התחייבה להבהיר למשתמשים את מדיניות השימוש במידע ומדיניות הבעלות במידע וכן אפשרות אם ירצו שלא יישמר המידע עליהם עוד במערכת. כך יוכלו האנשים להחליט מהו המידע שהם מבקשים שלא ייכלל במידע המועבר לניתוח ולעיבוד הבינה מלאכותית. המערכת צריכה להציע לאנשים את האפשרות לסרב לענות או לקבל שירות בתחילת הדברים או אף במהלכם. בנוסף, תנאי הגנת הפרטיות צריכים גם כן להיות נגישים וברורים כל העת, ובין השאר, צריך לתת מענה מקיף על השימוש שנעשה במידע האישי ועל שיתוף המידע עם אחרים. יש לעשות שימוש במידע לבניית מערכות

81 Ibid. Pichai, 2018

82 Hofman, D., & Masucci, R, 2018, Intel's AI Privacy Policy White Paper - Protecting individuals' privacy and data in the artificial intelligence world. <https://blogs.intel.com/policy/files/2018/10/Intels-AI-Privacy-Policy-White-Paper-2018.pdf>

83 Intel, 2017, Artificial Intelligence, <https://www.intel.ai/wp-content/uploads/sites/69/Intel-AI-Public-Policy-WP-2017.pdf>

בינה מלאכותית רק אם יש הסכמה לעשות שימוש במידע⁸⁴.

לבסוף, חברת מיקרוסופט מציינת כי יש לעמוד בכל חוקי הגנת הפרטיות הקיימים ולהיות שקופים ביחס לאיסוף המידע, לשימוש בו ולאחסונו. כמו כן, מציינת החברה, כי יש להשאיר את השליטה במידע בידי המשתמש. עם זאת מיקרוסופט מאמינה כי יעלו שאלות חדשות שלא נדונו קודם לכן ועל כן על התעשייה והממשל יחדיו להסדיר את הנושא כך שלא תהיה פגיעה בפרטיות, לצד מקסום השימוש בבינה מלאכותית לשיפור חיי האדם תוך התייחסות לאתגרים החדשים⁸⁵.

יש לשים לב כי תיתכן סתירה בין שמירה על פרטיות והוגנות. כך לדוגמה אם חברים רבים בקבוצה מסוימת באוכלוסייה ימנעו מלשתף מערכות בינה מלאכותית במידע האישי שלהם, יתכן שאיכות השירות, שמערכות כאלה תספקנה לקבוצה זו, תפגע.

ככל הנראה, ישנם גם שינויים מהותיים בין הטכנולוגיה הקיימת לבין הבינה המלאכותית, לאורם יהיה מקום לבחון מעת לעת את תחום הפרטיות הן במישור האתי והן במישור הרגולטורי. הדבר נכון בכל הנוגע למידע ולשילובו עם בינה מלאכותית, שלא מכוסה בדיון הקיים. חוק הגנת הפרטיות הישראלי אינו מותאם לעידן הנוכחי ויש להתאימו בהתאם למדיניות הרגולטורית בעולם המערבי⁸⁶.

3.2.1.3. ב. השמירה על האוטונומיה

האוטונומיה מבוססת לא רק על היכולת הפיזית של אדם לבחור בין אפשרויות, אלא גם על זמינות המידע המאפשר בחירה מושכלת ובחינת המהימנות של מידע זה. אין לקחת נושאים אלו כמובנים מאליהם בעידן הבינה המלאכותית. כך גם, היכולת לנתח מידע על אדם ולהבין כיצד הוא פועל ומהם מאפייני האישיות שלו, דבר המתאפשר באמצעות הבינה המלאכותית, מאפשר ליצור תהליכי שכנוע ברמת עומק וחודרנות גבוהים.

האוטונומיה מכוונת גם למגוון ההחלטות האנושיות הכרוכות במגע עם הטכנולוגיה, ואשר הטכנולוגיה עלולה להחליש. בהתאם לכך הכוונה היא להחלטות של יחידים כצרכנים, אזרחים, מנהלים, בעלי תפקידים ציבוריים ונבחרים. בכל אחד מאלה, יש לבחון האם ישנם טכנולוגי משפיע על האוטונומיה, ובאיזה אופן. חשוב לציין כי במסגרת דיון זה ייתכנו מקרים שבהם האוטונומיה מלכתחילה צרה יותר (בשל מאפיינים חברתיים, כלכליים, ערכיים), או שאוטונומיה צרה יותר תיתפס כראויה ערכית. כפועל יוצא מכך לא בהכרח יידרשו פעולות מיוחדות לשמירה על חופש בחירה.

ישנן טכנולוגיות בינה מלאכותית (כגון deep fake) שמטרתן לייצר מידע לא מהימן באופן שיהיה קשה עד בלתי אפשרי להבחין בינו לבין מידע מהימן. לטכנולוגיות אלו יש פוטנציאל לפגוע ביכולת של הפרט להבין את המציאות ולקבל החלטות בצורה מושכלת ואוטונומית, לפגוע באמון בין אנשים ובאמון בין אזרחים למוסדות השלטון. לדוגמה, לא ירחק היום בו ניתן יהיה לייצר באופן מלאכותי סרטון בו נראה מנהיג מדינה מכריז על מלחמה ובכך לגרור תוצאות הרוג אסון. הצוות בדעה כי על המדינה לבחון את ההתמודדות עם טכנולוגיות אלה בנפרד מדוח זה.

כיוון נוסף שיש לתת עליו את הדעת הוא חדירה של כלי בינה מלאכותית לתחום הפקת המידע והחדשות וההשפעה על האוטונומיה של הפרט. ערוצי תקשורת רבים משתמשים בבינה מלאכותית כדי לייצר חדשות מותאמות באופן אישי. לכלי זה יתרונות רבים אבל הוא גם מציב סכנה של חשיפה סלקטיבית – קבוצות באוכלוסייה שחשופות למידע חד-גוני ואינן נחשפות לעדויות וטיעונים שאינם עולים בקנה אחד עם תפישת עולמם ולא על-פי בחירתם המפורשת. במצב זה נשללת מאוכלוסייה שכזו הבחירה החופשית או החשיפה לדעות שונות. כמו-כן אוכלוסיות כאלו חשופות לניסיונות השפעה בלתי הוגנת על-ידי גורמים אינטרסנטיים. זאת מכיוון שמקורות המידע שלהם מצומצמים ולכן פגיעה במספר קטן ממקורות אלו יכולה לגרום השפעה לא פרופורציונית. נושא זה הועלה כדרך אפשרית בה גורמים זרים יכולים להשפיע על תוצאות הבחירות.

84 Ibid. Rossi et al., 2018, IBM

85 Microsoft, 2018, The Future Computed - Artificial Intelligence and Its Role in Society, <https://blogs.microsoft.com/uploads/2018/02/The-Future-Computed-2.8.18.pdf>

86 ארידור-הרשקוביץ רחל ואלטשולר שוורץ תהילה, 2019, הצעת חוק הגנת הפרטיות התשע"ט-2019, המכון הישראלי לדמוקרטיה <https://ilorg.idi.www://https>

2.1.3.ג. זכויות אזרחיות ופוליטיות

כגיעה בזכויות ביטוי, בשוויון, ובחופש הדת והמצפון עשויה להתרחש כאשר נוצרת השפעה על השיח הציבורי באמצעים אוטומטיים, כגון הדהוד יתר של דעות מסוימות והשתקת אחרות, הקצנה של השיח ומתן לגיטימציה לדעות שיכולות להיות פוגעניות עבור קבוצות מסוימות, וכן השפעה על תהליכי שכנוע בדעות ורעיונות. כל אלה עשויים לפגוע ביכולת לממש זכויות אזרחיות ופוליטיות שונות ומעלים חשש מפני התפשטות של שקרים ופגיעה בהליך דמוקרטי תקין. אלה עשויים לפגוע ביכולת לממש זכויות אזרחיות ופוליטיות שונות ויש לנסות למנוע אותן.

2.1.4 הגנת הסייבר ואבטחת מידע

הגנת הסייבר ואבטחת מידע עוסקות בהגנה על מחשבים ותקשורת מפני שימוש לרעה בהם, או במידע השמור בהם. מכאן שהגנת הסייבר ואבטחת מידע הן דרישות תשתיות לקידום הבטוח והתקין של פיתוח והטמעה של טכנולוגיות בינה מלאכותית. המידע הוא הדלק המניע את הגל הנוכחי של הבינה המלאכותית. לכן, העוסקים בבינה מלאכותית אוספים כמויות גדולות של מידע הן בשלב בניית הכלים והן בזמן הפעלת המערכות. מידע כזה יכול לכלול מידע אישי, רפואי, כלכלי ומידע רגיש אחר. כמו-כן מידע לא רגיש יכול להפוך רגיש כאשר הוא מוצלב עם מקורות מידע אחרים. לפעמים, אפילו כמות המידע יכולה להפוך מידע לרגיש. לפיכך, על העוסקים בתחום הבינה המלאכותית להקפיד על אבטחת המידע על-מנת למנוע זליגה של מידע ולמנוע מגורמים זדוניים גישה למידע⁸⁷. המערכות האלגוריתמיות התומכות החלטות אנושיות או מחליפות אותן הופכות להיות בעצמן יעד להגנה על מנת למנוע מימוש תרחישי שימוש לרעה עקב היותן ממוחשבות.

2.1.5 בטיחות

מערכות בינה מלאכותית עשויות להיות משולבות כתומכות החלטה או מקבלות החלטה באופן שהן יכולות להשפיע על בטיחות באופן ישיר ועקיף. כך לדוגמא כבר נרשמו מספר מקרים בהן מכוניות אוטונומיות היו מעורבות בתאונות קטלניות. סכנות הבטיחות כמו גם הנזק, יכולים לנבוע ממספר גורמים. ראשית, אי זיהוי של עיוותים, או מגבלות אחרות של הנתונים, יכולות להביא את המערכת לקבלת החלטות שגויות (לדוגמא בנושא המלצות על טיפול בחולים בדלקת ריאות)⁸⁸. אתגר נוסף הוא הטיפול במקרי קצה או מקרי קיצון. במקרים אלו יש לפתח מנגנונים שיגבילו את מידת הנזק. כמו-כן יש לנטר את ביצועי המערכת, לזהות נקודות כשל ולתקן אותן במהירות⁸⁹.

נושא נוסף שיש לתת עליו את הדעת הוא בטיחות בשלב בניית מערכת הבינה המלאכותית. כפי שנאמר, מערכות אלו דורשות מידע רב ולכן יש לשים לב שהמרוץ להשיג מידע כזה אינו מוביל ללקיחת סיכונים מיותרים. כך לדוגמא, כדי לבנות מכונית אוטונומית יש לאסוף נתונים במצבי נהיגה מגוונים, חלקם מסוכנים, על-מנת שהמערכת תלמד איך להגיב במצבים אלו. לכן, עלול להיווצר מצב שבו בשלב הפיתוח מציבים אנשים במצבי סיכון ואפילו מעודדים אותם לקחת סיכונים על-מנת לאסוף מידע שיסייע למערכת.

2.1.6 קיום שוק פתוח, תחרותי והוגן

הצוות רואה בתחרות ובתהליך התחרותי תנאים לחופש ולחרות ותורם לחדשנות ולרווחה חברתית. מניעת תחרות מונעת משחקנים חדשים ליזום ולהיכנס לשוק, והנזק לטווח ארוך למדינה הוא גבוה. בהתאם לכך שמירה על שוק חופשי שיש בו תחרות הוגנת תאפשר לכל השחקנים בשרשרת הערך, בעיקר חברות קטנות-בינוניות וסטרטאפים ליהנות ולהרוויח מהפעילות.

בתחום הבינה המלאכותית, קיימים שחקנים בעלי כוח שוק משמעותי במקטעים שונים של שרשרת הערך הרלבנטית לפיתוח הטמעה ושיווק של הטכנולוגיה. כוח שוק זה נובע בין היתר ממאפיינים של כלכלת רשת, שווקים דו צדיים, ונגישות נרחבת למידע המשמש לעיבודים. ריכוז כח כלכלי עלול להוביל גם לריכוזי כח פוליטי, ומאפשר לחברות לקבוע את כללי המשחק בשוק. החשש

^[1] Ibid. Microsoft, 2018 87

^[2] Ibid. Microsoft, 2018, pp. 64 88

^[3] Ibid. Microsoft, 2018, pp.61-65 89

הוא שהשפעתם של מגה-שחקנים אלה על השוק עלולה לפגוע בכניסתן של טכנולוגיות חדשות או יישומים חדשים, ובחדשנות הגלומה בבינה מלאכותית. למשל העוצמה של פלטפורמות המידע תורגמה לעוצמה בתחום הפרסום (לדוג' גוגל וכייסבוק), ולאחר מכן קמעונאות (לדוג' אמזון), הרחבת העוצמה הקיימת עשויה להשפיע על תחומי כלכלה נוספים.

בהתאם לכך, יש לבחון האם דיני התחרות, החוזים האחידים והגנת הצרכן הקיימים ערוכים לתת מענה מהותי ומוסדי לאתגרים הצפויים. לכך יש להוסיף את האתגר הגלובאלי, הנובע מכך שחלק מהשחקנים המשמעותיים פועלים בארצות הברית. לדעת המומחים מהאיחוד האירופאי, יש לבחון האם יש לשנות את דיני התחרות על מנת לאפשר תחרות רבה יותר בתחום הבינה מלאכותית. בתוך כך, יש למפות את התעשייה על פי המוכנות שלה לקלוט בינה מלאכותית ולתת מענה שונה לכל תחום בהתאם ליכולות כאמור⁹⁰. בבריטניה המליצו בדוח משנת 2016 להגביל את הכוח של החברות הגדולות עתירות המידע באמצעות כלים מתחום ההגבלים העסקיים⁹¹.

בהקשר זה, אתגר מהותי בתחום הבינה המלאכותית הוא הצורך בנגישות למאגרי מידע גדולים, הנמצאים בידי גופים מעטים, לעיתים בידי חברות פרטיות. כך, חברות האוחזות במידע רב יותר עלולות למנוע מחברות קטנות להיכנס לשוק ולהתחרות בו ועלולות להיות מוטות באופן ברור לטובתן בשירות אותו הן מעניקות⁹². מדינות אחדות, כמו צרפת, קראו לממשלה, בדוח שפורסם, ליצור מסדי נתונים פתוחים, כטובין ציבוריים ולעגן את הפתיחות של אותם מסדי נתונים בחוק זכות יוצרים (ראו למשל בישראל את ההסדר הקובע כי אין זכות יוצרים ביצירות אחדות המנויות בסעיף 6 לחוק זכות יוצרים, התשס"ח-2007)⁹³. המלצה זו נועדה למנוע הטיות ולשמור על הוגנות פעולת המערכת באמצעות אימון של מערכות הבינה מלאכותית על מסדי נתונים הוגנים, מקיפים, המייצגים את כלל האוכלוסייה בהתאמה וכיו"ב. בנוסף קריאה זו נועדה לאפשר תחרות פתוחה והוגנת בתחום בין חברות קטנות שאין ברשותן מידע רב לבין חברות גדולות, להן ישנו מידע רב עליו ניתן לאמן את מערכות הבינה מלאכותית.

כפתרון נוסף ניתן לחשוב על הכנת מסדי נתונים פתוחים והנגשתם לציבור באמצעות טכנולוגיית בינה מלאכותית. כך עשו במחקר בו יצרו פרצופים על ידי בינה מלאכותית⁹⁴. כך גם ניתן לדאוג שהמאגר ייתן ייצוג לכלל האוכלוסייה תוך שמירה על פרטיות האנשים ושימוש בתוכן שנוצר על ידי המחשב. בדוח שמואל נאמן ציינו את החשיבות ביצירת מסדי נתונים ציבוריים משותפים. גם מיקרוסופט קראה לפתיחת מסדי נתונים כמו מסדי נתונים במאגרים ציבוריים. עם זאת, מציינת החברה, יש לחשוב על דרך בה תישמר הפרטיות (אולי להשקיע במחקרים של הסרת הזהות)⁹⁵.

2.2 כלי למקבלי החלטות לבחינת האתגרים האתיים

הצוות ממליץ לראות בכל העוסקים בתחום הבינה המלאכותית כאחראים לפעול באופן חוקי ואתי. יתרה מזאת, מכיוון שהתחום מתפתח במהירות, כמו גם ההבנה שלנו את הסכנות, האפשרויות ודרכי ההתמודדות איתן, על העוסקים בתחום להישאר מעודכנים בנושא ואי עמידה בתנאים אלו עלולה להיחשב כרשלנות.

כדי לאפשר לעוסקים בתחום הבינה המלאכותית לזהות סיכונים אתיים ולהגיב אליהם בצורה מתאימה פיתחנו כלי עזר שברצוננו להעמיד לרשות מקבלי ההחלטות בתחום והציבור. בפרק זה נדגים את הכלי המוצע, אולם היות והתחום מתפתח והינו דינמי, יהיה צורך לשמור על עדכנו השוטף של הכלי.

הכלי בנוי משני חלקים:

- חלק א' מורכב מקבוצת שאלות ראשוניות שיש לשאול בעת פיתוח מוצר בינה מלאכותית והבוחנות את מידת ההשפעה של מערכת הבינה המלאכותית. שאלות אלה מיועדות למפתחי המוצרים לאורך כל שרשרת הפיתוח והייצור, ויש לעדכן אותן מעת לעת.

^[1] Ibid. Ethical Guidelines for Trustworthy AI, 2019 90

^[2] House of Commons Science and Technology Committee, 2016, Robotics and Artificial Intelligence, https://publications.parliament.uk/pa/cm201617/cmselect/cmsctech/145/145.pdf

^[3] ש.ם. גץ ואחרים, 2018, עמ' 90.

^[4] Ibid. Villani, 2018 93

^[5] Karras Tero, Samuli Laine and Aila Timo, 2018, "A Style-Based Generator Architecture for Generative Adversarial Networks", Neural and Evolutionary Computing, https://arxiv.org/abs/1812.04948

^[6] Ibid. Microsoft, 2018, pp. 78 95

2. חלק ב' הוא שימוש ותחזוקה של מפת שכיחויות, המאפשרת לאתר את המוקדים האתגריים מבחינת הטמעת הערכים האתיים בשלבי הפיתוח של המערכת (לאו דווקא את עוצמת הנזק או הפגיעה, כי אם את שכיחות הפג"ע). מפת השכיחויות המוצגת בדוח בוחנת 10 מקרי-בוחן מייצגים אותם בחרנו, ומאשרת את הנקודות בהן עלולים להתעורר אתגרים אתיים (ראה עמ' 197) לפי ציר הזמן ושלבי הפיתוח. בעזרת מקרי הבוחן, המפה מנסה להעלות למודעות את התחומים בהם היו בעיות לארגונים אחרים בעבר, והיכן צריכים מקבלי החלטות צריכים לשים לב, להיות זהירים יותר ולפעול. יש לדאוג להזין את המפה במקרי בוחן עדכניים, רלוונטיים וחשובים באופן שוטף, אחרת מפה זו תתייתר.

בעמודים הבאים נדגים כיצד לעצב כלי שכזה עבור ארגון המפתח מוצר מבוסס בינה מלאכותית.

2.2.1 חלק א' של הכלי - קבוצת שאלות ראשוניות להערכת מידת השפעה של המערכת:

בבואנו לעצב את קבוצת השאלות שעל מקבלי החלטות לענות עליהן כדי לבדוק כשלים אתיים אפשריים, אנו מתמקדים במאפייני השפעה ופרמטרים שונים⁹⁶.

1. מהי עוצמת הפגיעה הפוטנציאלית בפרט?

ככל שעוצמת הפגיעה הפוטנציאלית בפרט עולה, יש לתת את הדעת יותר לערכים כמו הוגנות, זכויות האדם, אחר-ריותיות, שמירה על אוטונומיה ואבטחת המידע. ככל שהחברה יש לה נתח שוק גדול יותר – העוצמה של הפגיעה, גם אם היא קטנה, במצטבר עלולה לפגוע בקהל לקוחות רחב מאוד. בתחום הפרטיות, למשל, אמנות שונות כיום בעולם דנות בשאלת ההסכמה לאיסוף המידע ולעיבודו. במידה שלא ניתן אישור כזה יש לגלות זהירות יתר לא רק בשלב איסוף המידע, המוסדר כיום בחקיקות השונות, אלא אף בשלב של השימוש במידע לצרכי אימון מערכות הבינה המלאכותית. כך גם לגבי קיומו של מידע אישי. גם נושא זה מוסדר כיום ברובו בחקיקה, אולם אם יש שימוש במידע אישי יש לגלות רגישות יתר הן בשלב האיסוף והן בשלב אימון המערכת או שיתוף המידע עם אחרים.

2. מהי עוצמת השפעה הפוטנציאלית על התודעה?

סעיף זה גם מתייחס לעוצמת הפגיעה בפרט, אך לדעת הצוות דורש התייחסות נפרדת וממוקדת. במידה שלמערכת יש השפעה אפשרית על התודעה יש לגלות רגישות יתר, במיוחד במקרים בהם ייתכן שיעשה שימוש לרעה במערכת הבינה המלאכותית, תוך שימוש במניפולציות על התודעה (למשל – Deep Fake).

3. מהי עוצמת הפגיעה הפוטנציאלית בציבור?

כך, למשל, כמות לקוחות או כוח השוק של החברה בעלת הטכנולוגיה של הבינה המלאכותית יכולים להעיד על פוטנציאל הפגיעה. יש לבחון מהו היקף השפעה של המערכת מבחינת מספר משתמשים או השפעה על השוק. יש לבחון גם האם קבוצה מסוימת בציבור עלולה להיפגע. כלומר, אם המערכת מתוקף עבודתה, יוצרת אבחנה בין קבוצות, יש לגלות רגישות יתר.

4. האם ישנה השפעה על הקצאת משאבים לציבור, ומהי ?

גם סעיף זה מתייחס לעוצמת הפגיעה בציבור אך לדעת הצוות דורש התייחסות נפרדת וממוקדת. האם המערכת עשויה להשפיע על חלוקה של משאבים כספיים, ציבוריים או אחרים? במידה שהמערכת יכולה להשפיע על חלוקת משאבים יש לגלות רגישות יתר.

5. האם צוות הפיתוח מגוון דיו?

יש לבחון האם צוות הפיתוח כלל מגוון רחב של אנשים שמייצגים בדגש על נציגות של קבוצות באוכלוסייה העלולות להיפגע מהמערכת. במידה ולא, יש להגביר את הזהירות בבחינה הערכית של המערכת. לשם בחינה זאת יש גם לבדוק האם ניתן לזהות את הקהלים שנמצאים בסיכון.

6. מהי עוצמת הפגיעה הצפויה אם יעשו שימוש לרעה במוצר או שהמוצר יצא משליטה?

יש לבחון מהי עוצמת הפגיעה הפוטנציאלית אם יעשו שימוש לרעה במערכת. ככל שעוצמת הפגיעה – במישור הפרט, הציבור או הכלכלה עלולה להיות גדולה, יש להיות זהירים יתר ולנסות למזער את הנזק כמו – היכולת להפסיק את פעילות המערכת בעת שהיא יוצאת משליטה או שעושים בה שימוש לרעה.

7. האם יש דרך מהירה לזיהוי של תקלות אתיות במערכת שלא נצפו מראש?

ככל שיכול להצטבר נזק רב עד אשר תזוהה התקלה יש צורך ברף בדיקות גבוהה ביותר לפני תחילת השימוש במערכת.

⁹⁶ בנוסף, ממשלת קנדה פיתחה כלי-שאלונים (Algorithmic Impact Assessment) שנועד לעזור להעריך ולצמצם סיכונים בעת פיתוח והטמעה של מערכות בינה מלאכותית. <https://www.canada.ca/en/government/system/digital-government/modern-emerging-technologies/responsible-use-ai/algorithmic-impact-assessment.html>

2.2.2 חלק ב' של הכלי – מפת שכיחות אתגרים בשלבי הפיתוח של מערכת בינה מלאכותית:

מפת השכיחות מראה את השכיחות של תופעות אתיות לאור שרשרת הפיתוח של המוצר.

המפה אמורה לתאר את הנקודות בהן נתגלו כשלים בעבר ומידת הנפיצות של כשלים כאלו. השכיחות של האירועים עשויה להשתנות עם הזמן, ואירועים חדשים עלולים להתגלות. על כן, אנו ממליצים לשמור על כלי זה ככלי חי ולעדכן אותו באופן תדיר ככל שהניסיון בעולם גדל ומקרי בוחן נוספים יתגלו. אי לכך, מפת השכיחות המובאת כאן, היא הדגמה של השיטה שבה צריך לפתח כלי זה ואת אופן השימוש בו.

על מנת לבנות את מפת השכיחות השתמשנו ב-10 מקרי בוחן שמייצגים אתגרים שונים. מקרי הבוחן נבחרו מתוך מקרים שכבר קרו בעבר. רשימה זו נבחרה כך שתדגים את כל העקרונות האתיים (ראו סעיף 2.1) בעת שלבי הפיתוח השונים.

טבלה 1: מקרי בוחן שמשמשים כאבי-טיפוס לאתגרים אתיים

מקרה בוחן 1	מערכת בינה מלאכותית לסינון מועמדים לעבודה
מקרה בוחן 2	שימוש בבינה מלאכותית להשפעה על תודעת האנשים
מקרה בוחן 3	חיזוי סיכון ממחלות
מקרה בוחן 4	מערכת להערכת מסוכנות של עצירים

מקרה בוחן 5	משחק בו שחקנים וירטואליים מונחי בינה מלאכותית צברו נשקים שוברי שיויון
מקרה בוחן 6	בוס שהפך לגזען
מקרה בוחן 7	בוס שמתחזה לאדם
מקרה בוחן 8	מכוניות אוטונומיות דרסה למוות הולכת רגל
מקרה בוחן 9	הטיות בזיהוי פנים
מקרה בוחן 10	מערכות המלצה של תוכן מציגות מידע שונה לאוכלוסיות שונות

גורמים שונים מעורבים בפיתוח מערכת הבינה מלאכותית: מנהלי מוצר, מדעני נתונים, אנשי מכירות, קניינים של מערכות כאלה ועוד. הכלי הבא, מציג דוגמאות לסוגיות אתיות העולות בשלבים השונים של תהליך הפיתוח ומאפשר לעקוב אחריהן. מטרת הטבלה היא לסייע באיתור השלבים, בציר הזמן, בהם עלולות להתעורר בעיות אתיות. לשם כך אנו מתארים תהליך אופייני של פיתוח בינה מלאכותית. יש לציין שתהליך הפיתוח יכול להשתנות ממוצר לאחד למשנהו.

101 <https://futurism.com/this-video-games-artificial-intelligence-turned-on-players-using-super-weapons>
 102 <https://www.theverge.com/2016/3/24/11297050/tay-microsoft-chatbot-racist>
 103 <https://www.androidcentral.com/google-duplex-will-let-people-know-its-not-human>
 104 <https://www.cbc.ca/news/business/uber-arizona-crash-1.4594939>
 105 <https://www.theverge.com/2019/1/25/18197137/amazon-rekognition-facial-recognition-bias-race-gender>
 106 <https://www.bostonglobe.com/business/2013/02/06/harvard-professor-spots-web-search-bias/PtOgSh1ivTZMfyEGi00X4I/story.html>

97 <https://www.theguardian.com/technology/2018/oct/10/amazon-hiring-ai-gender-bias-recruiting-engine>
 98 <https://www.theguardian.com/us-news/2015/dec/11/senator-ted-cruz-president-campaign-facebook-user-data>, <https://www.theguardian.com/news/2018/mar/17/cambridge-analytica-facebook-influence-us-election>
 99 <http://people.dbmi.columbia.edu/noemie/papers/15kdd.pdf>
 100 <https://www.propublica.org/article/machine-bias-risk-assessments-in-criminal-sentencing>

שלבי הפיתוח להתייחסות אתית:

1. הגדרת המוצר
 - א. הבנת הצורך העסקי – זיהוי הצורך או הבעיה אותה המערכת מנסה לפתור ובניית מערך הפיתוח.
 - ב. איסוף נתונים – זיהוי מקורות מידע, בתוך הארגון ומחוץ לו, אשר ישמשו לבניית המערכת והערכת הביצועים שלה.
2. אימון המוצר
 - א. ארגון הנתונים – עיבוד וסינון הנתונים הגולמיים לכדי צורה שתאפשר לאלגוריתמי הבינה המלאכותית לקבל את הנתונים ולערוך איתם חישובים.
 - ב. בניית מודל – הפעלת אלגוריתם של בינה מלאכותית בעיבוד המידע בניסיון למצוא תבניות המאפשרות הכללה.
3. אינטגרציה
 - א. הערכת המודל – בדיקת תוצאות שלב בניית המודל כדי להעריך אם המודל מדויק דיו כדי לאפשר שימוש בו.
 - ב. הפצה – חיבור רכיבי הבינה המלאכותית עם שאר חלקי המערכת והעברתם לשימוש נרחב.
4. ניהול שוק
 - א. מעקב אחר ביצועים – אחרי הפצת המערכת יש להמשיך לעקוב אחרי ביצועי המערכת כדי לוודא שהמערכת מבצעת את עבודתה בהתאם לציפיות.
 - ב. אקו-סיסטם (חברתי, עסקי, רגולטורי) – במקביל לתהליך המתבצע בתוך הארגון, יש צורך להתייחס גם לשווקים האתניים הנוצרים כתוצאה מקיום התהליך באקו-סיסטם הישראלי. שילוב הבינה המלאכותית עלול להשפיע על המערכת החברתית, העסקית, הכלכלית, הצרכנית, הרגולטורית ועל מערכות נוספות, ויש לבחון האם וכיצד הבינה המלאכותית משפיעה על כך, גם לאחר שחרורה מהמפעל.

טבלה 2 - מפת שכיחות אתגרים בשלבי פיתוח מערכת בינה מלאכותית

הבנת הצורך העסקי	איסוף נתונים	ארגון נתונים	בניית מודל	הערכת המודל	הפצה	מעקב אחרי ביצועים	אקוסיסטם
	1,3,4		3,4	1,3,4	1,4,9	1,3,4,9	1,4,9
4			3,4				4
4			3,4				9
1,2,3,4				1,3,4	3,4	3,4,5,6	2,5,6,9
2,9	1	1,2	1	1			2,9
7,10						10	6,7,10
		2					2,9
4,9			4		4	4	4,9
3,4	3,4		3,4	3,4	3,4,5,8	3,4,5	3,5,8
5					5,6	5	

מקרא:

שכיחות המקרים הבעייתיים הייתה נמוכה (מקרה בודד)
שכיחות המקרים הבעייתיים הייתה בינונית (2 מקרים)
שכיחות המקרים הבעייתיים הייתה גבוהה (3 מקרים ומעלה)

1	מקרה בוחן 1 מערכת בינה מלאכותית לסינון מועמדים לעבודה
2	מקרה בוחן 2 שימוש בבינה מלאכותית להשפעה על תודעת האנשים
3	מקרה בוחן 3 חיזוי סיכון ממחלות
4	מקרה בוחן 4 מערכת להערכת מסוכנות של עצירים
5	מקרה בוחן 5 משחק בו שחקנים וירטואלים מונחי בינה מלאכותית צברו נשקים שוברי שיוויון
6	מקרה בוחן 6 בוט שהפך לגזען
7	מקרה בוחן 7 בוט שמתחזה לאדם
8	מקרה בוחן 8 מכוניות אוטונומיות דרסה למוות הולכת רגל
9	מקרה בוחן 9 הטיות בזיהוי פנים
10	מקרה בוחן 10 מערכות המלצה של תוכן מציגות מידע שונה לאוכלוסיות שונות

כיצד מייצרים את מפת השכיחות?

המבקשים לבנות את מפת השכיחות, עוברים על רשימת מקרי הבוחן, ובוחנים את ההשלכות ואת האירועים המדווחים בהתחשב ברשימת הערכים האתניים עליהם הצבענו בסעיף 2.1: הוגנות, אחריות, כיבוד זכויות אדם, הגנת סייבר, בטיחות וקיום שוק תחרותי. ממלאים את הטבלה בהתאם לאתגרים האתניים שהתגלו. המספרים בתוך התאים בטבלה מתייחסים למס' האירוע. בהמשך בודקים את כמות האירועים המצטברים מבין סך האירועים. תאים בטבלה בהם נמצאו מעט אתגרים וכשלים אתיים (שכיחות נמוכה של אירועים) נצבעו בצבע בז' וצהוב בעוד נקודות בהם נמצאו מספר רב יותר של אתגרים אתיים (שכיחות גבוהה של אירועים) נצבעו באדום. נציין כי לא התייחסנו הפעם לעוצמת הפגיעה האפשרית ולהיקפה בעת בחירת צבעים אלה, אלא רק למידת שכיחות הבעיות שאיתרנו. ייתכן כי כלי משוכלל יותר ייקח אף בחשבון את עוצמת הפגיעה ואת היקפה כאמור. ההחלטה על מה מהווה שכיחות נמוכה, בינונית וגבוהה צריכה להתקבל בעת בחירת מס' האירועים עליהם מתבסס הארגון, ובהתחשב בתוצאות מילוי התאים במפה. לדוג' במקרה שלנו (ראו טבלה 2) יש לנו 10 אירועים ובמפה המקסימום של שכיחות אירועים לתא היא 3 ו-4 אירועים. על כן במקרה ויש שלושה או ארבעה אירועים מדווחים, צבענו את התא כשכיחות גבוהה של אירועים (נצבע באדום). בהתאם בחרנו 2 אירועים כשכיחות בינונית לאירועים בעייתיים (נצבע בצהוב), ואירוע אחד כשכיחות נמוכה (נצבע בבז'). הצוות ממליץ למקבלי ההחלטות לדון בכובד ראש ולהציע פתרונות לאתגרים העולים לפי מפת השכיחות בהליך הפיתוח שלהן.

מכיוון שמפת השכיחות תלויה לחלוטין ברשימה איכותית של אירועי בוחן, ההנחה היא כי כל ארגון צריך לבחור קבוצה של אירועים שדומה למוצר אותו הם מפתחים, וההנחה היא כי קבוצת האירועים משתנה לאורך הזמן והניסיון האנושי.

פרק 3 – בינה מלאכותית ואסדרה

הפרק הראשון בדוח זה הציג את ההיבטים הייחודים של בינה מלאכותית ואשר רלוונטיים לדיון בנושא המשילות האתית והמשפטית בתחום הבינה המלאכותית. הפרק השני בדוח הציג את המלצות הצוות ביחס לעקרונות הערכיים והאתיים שיש להחיל על פעילות פיתוח ושימוש בטכנולוגית בינה מלאכותית. המלצות אלה גובשו בהתבסס על ההיבטים הייחודים שאותרו בידי הצוות, בזיקה לדיונים דומים המתנהלים בגופים בינלאומיים ציבורים ופרטיים. הפרק השלישי יציג את האפשרויות השונות בתחום האסדרה של בינה מלאכותית, כחלק מהדיון אודות התפקיד של המשפט ומוסדות משפטיים בקידום ודאות, מימוש עקרונות ערכיים ותמיכה בחדשנות של בינה מלאכותית.

הדיון נעשה ברמת הפשטה גבוהה, על מנת לאפשר "מבט על" על כיווני הפיתוח הנורמטיביים האפשריים והמומלצים. לצורך דיון זה, ובדומה לפרק הראשון והשני, במוקד פרק זה השאלה מהם המאפיינים הייחודים של הטכנולוגיה ואופן הפיתוח והשימוש בה בהקשרי האסדרה, תוך **התבססות על הנחת המוצא של ההתערבות המאוזנת – לא רק התערבות בדיעבד, אולם התערבות רק במידה הנדרשת ובאופן המינימלי הנדרש, על מנת לאפשר את החדשנות ואת המשך הובלת מדינת ישראל בתחום תוך שמירה על כללים אתיים ורגולטוריים ברורים**.

3.1 אסדרה של בינה מלאכותית בפעילות פרטית

המטרה הכללית של אסדרה היא להביא להפנמה ולשינוי התנהגות של אנשים לפי שיקולים ערכיים של חברות (societies), כגון שמירה על בריאות ובטיחות הציבור, מניעת ניצול צרכנים וכדומה. תחום הבינה המלאכותית מתייחס לטכנולוגיות שונות, עם שימושים מגוונים במשק, כאשר המגזר הפרטי מניע חלק ניכר מההתקדמות הטכנולוגית בתחום. כתוצאה מכך עולות שאלות לגבי האם צריך אסדרה, באיזו צורה, ובאילו מקרים.

פרק זה יתמקד באסדרה ביחס לפעילות פרטית בתחום הבינה המלאכותי , בהקשר לעקרונות והערכים שזוהו כיעדים לקידום אתי בסעיף 2.1.

יש לבחון את הסדרת הבינה המלאכותית במספר מעגלים – מעגל כללי – השפעה על החברה בכללותה; מעגל מפתחי הבינה המלאכותית והמשתמשים בה; והמעגל הלאומי של המדינה כיצרנית בינה מלאכותית וכמשתמשת בה.

במסגרת תפיסות האסדרה של טכנולוגיות מידע חדשניות, שנכונות גם לבינה מלאכותית, ניתן לציין מספר מאפיינים אותם יש לקחת בחשבון:

1. תחום הפיתוח של טכנולוגיות מבוססות בינה מלאכותית הוא דינאמי ביותר בכל הקשור להטמעה ואימוץ הטכנוֹ־לוגיה על ידי החברה (society). ההתפתחות המהירה ואימוצה המהיר אינם מאפשרים לעיתים למוסדות העוסקים באסדרה לנתח את התופעה הטכנולוגית והשפעותיה ולהבין אותה, לצורך החלת מסגרת נורמטיבית. בנוסף, לעיתים תופעה טכנולוגית מביאה לשינוי תפיסות ערכיות וחברתיות באופן שמשפיע על הפרשנות הנורמטיבית ועל כן יש קושי בתגובה אסדרתית מהירה.

2. תחום מוצרי בינה מלאכותית הוא גלובלי ומושפע מפיתוחים טכנולוגיים חוצי-גבולות. לכך תורמים גם מאפייני הכלכלה הגלובאלית, שבעיקרה מאפשרת תנועה של מידע הון ושירותים מעבר לגבולות, באופן שמאתגר משטרי־אסדרה משפטיים.

3. עלייתן של חברות בעלות כוחות שוק חוצי-גבולות, פלטפורמות העברת מידע, מסחר ותיווך בשירותים ובמידע הכרוך בהם. חברות אלה הן בעלות עוצמה רבה בתחום המידע, ההון וכוח השוק, המשפיעות רבות על הסביבה הטכנולוגית, עסקית ואף פוליטית, העולמית והמקומית כאחד.

לענפי המשפט השונים יכולת להשפיע בצורות ישירות ועקיפות, בצורות משפטיות ולא-משפטיות (אתיות) על התחום. ישנם רגולטורים שקביעותיהם עשויות להשפיע על פיתוח בינה מלאכותית באופן ישיר, כמו קבלת החלטות לגבי הגנת פרטיות שאמורה להיות מוטמעת במערכות בינה מלאכותית. לעומת זאת, ישנם רגולטורים שקביעותיהם עשויות להשפיע על סביבת ההטמעה של הבינה המלאכותית, כמו החלטות בדבר מקומות שבהם מותר יהיה למכוניות אוטונומיות לנסוע ומקומות שאסור. לענפי המשפט השונים יש גם יכולת להשפיע על התמריצים הפועלים על השחקנים השונים, על מנת שיוצרו מנגנוני רגולציה עצמית, בדרך של קביעת אחריות או פטור מאחריות בחקיקה. כך ניתן אף לחשוב על תמריצים כלכליים להטמעת האתיקה בכל שלבי פיתוח המוצר ואחזקתו, בכל שרשרת הערך.

תובנות אלה על תפקיד המשפט ויכולתו לעצב סביבה דיגיטלית וסביבת שוק מבוססות על הניסיון המצטבר ביחסי הגומלין בין המשפט והאינטרנט. כך למשל, לסעיף 230 בחוק ה- Communication Decency Act בארה"ב, שקבע פטור למתווכים על מידע המועבר דרכם, הייתה השפעה מכרעת על עלייתן ושגשוגן של פלטפורמות חדשות. מנגד החקיקה הזו אפשרה לפלטפורמות אלה לקבוע בעצמן, באמצעים חוזיים בדרך כלל, את "כללי המשחק" הקשורים בהעברת מידע דרכן.

בהקשרי בינה מלאכותית, המגמה של האיחוד האירופי היא להתאים כללי אחריות של המשפט הפרטי למציאות של מוצרים ושירותים מבוססי בינה מלאכותית, על בסיס הדגם של "אחריות מוחלטת". דגם ה"אחריות המוחלטת" משקף מודל התערבות משפטית אקטיבית, בו יש הטלת האחריות על היצרן או המשתמש לפי ההקשר, אלא אם הם יוכיחו את התקיימותם של תנאים מסוימים אשר יסירו מהם אחריות, או תנאים לקבלת פטור מאחריות.

בהמשך לכך, ניתן להעלות מודל ביניים של אסדרה משפטית המשלב גם היבטים אתיים, כלומר להטיל אחריות כל עוד אין לא עומדים בסטנדרטים מקובלים בתעשייה, אותם הרגולטור יצטרך לקבוע. מודל שכזה משלב בין הרצון להטיל אחריות למנוע נזק על הגורם היעיל, לבין החשש מפני אפקט מצנן על חדשנות. ניתן אף לחשוב על תמריץ בדרך של "מקל וגזר" כפי שנעשה בתחום השמירה על איכות הסביבה – הקלה בעונשים אם מאמצים קוד אתי בתחום והחמרה בעונשים אם לא אימצו קוד אתי כאמור.

לסיכום, הצוות זיהה כי קיימות מספר אפשרויות של אסדרה להתמודדות עם אתגרים של בינה מלאכותית (ראו טבלה 3). אפשרויות אלה יכולות להיות משפטיות או חוץ-משפטיות:

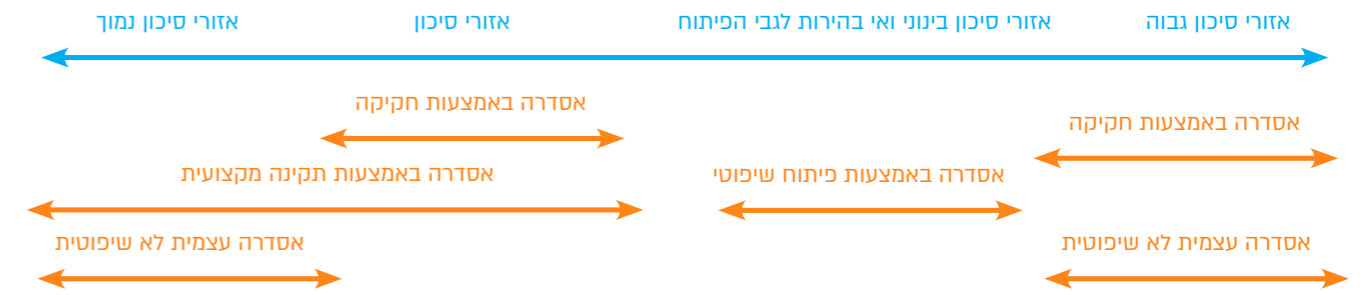
- אסדרה באמצעות חקיקה באמצעות דין ייעודי – כלומר טיפול בחקיקה שקשורה להיבטי בינה מלאכותית, כגון עבירות כנגד "מחשב" בחוק המחשבים, שנועדו להגן עליו ועל המידע שבו, או חוק אחריות למוצרים פגומים וכד'.
- אסדרה באמצעות פיתוח שיפוטי למשל של דיני הנזיקין או דיני חוזים.
- אסדרה באמצעות תקינה מקצועית – אסדרה באמצעות מוסדות תקינה המשלבים נציגים מהממשלה, האקדמיה והחברה האזרחית.
- אסדרה-עצמית לא משפטית – באמצעות כללים אתיים או סטנדרטים מקצועיים המפותחים בדרך כלל בידי הקהילה המקצועית הרלבנטית. למשל הקמת ועדות מייעצות ומפקחות (review boards) פנימיות, ציבוריות, משולבות עם נציגי אקדמיה, ממשל, תעשייה וחברה אזרחית שיכולים לתת החלטות מקדמיות בתהליך הפיתוח וההטמעה.

לכל אחת משיטות האסדרה יתרונות וחסרונות, באיזון שבין ניהול סיכונים, ודאות, תופעות לוואי, גמישות וחדשנות. איור 1 מתאר לדעת הצוות את ההתאמה האופטימלית של אפשרויות אסדרה לפי אזורי הסיכון של המוצרים או השירותים מבוססי הבינה המלאכותית. כמו כן, טבלה 3, נועדה להוסיף מידע לגבי היתרונות והחסרונות של סוגי האסדרה השונים, ונועדה לאפשר למקבלי החלטות לייצר דיון פורה לגבי סוגי האסדרה של בינה מלאכותית בגופי מטה הממשלה ובגופי הרגולציה.

טבלה 3 מתמקדת בסוגי האסדרה לאור השאלה 'מה מסדירים'. אולם יש לקחת בחשבון גם את ההיבט המוסדי. אסדרה באמצעות חקיקה באמצעות דין ייעודי יכולה להתבצע על ידי (או בלעדי) הקמת רשות ייעודית בחוק, שמומחית בתחום הבינה המלאכותית. יתרונות של רשות שכזו תהיה יכולת ההתמחות הגבוהה, נקודת מענה מרכזית ומהירה לפניות ולאתגרים השונים. מאידך, הקמת רשות ייעודית עלולה לגרור לרגולציית יתר ולפגיעה בחדשנות.

חשוב לציין כי ברוב המקרים אסדרה נעשית על ידי מגוון כלים ושיטות בו-זמנית. למשל, בנושא הפרטיות, קיימת רשות להגנת הפרטיות לצד חקיקה ראשית, חקיקת משנה, פיתוח שיפוטי ותקינה.

איור 1 – אפשרויות לאסדרה של בינה מלאכותית והתאמה לאזורי סיכון שונים



טבלה מס' 3 – אפשרויות אסדרה בתחום הבינה המלאכותית

סוג האסדרה	מאפיינים	יתרונות	חסרונות	המלצות הצוות
אסדרה באמצעות חקיקה באמצעות דין ייעודי	חוק ייעודי או תיקון לחוקים אחרים שנאכף בידי רשות מדינתית קיימת או בידי גורמים פרטיים	<ul style="list-style-type: none"> מגביר את הבהירות לגבי הערכים המוגנים מאפשר פיתוח שיפוטי קונקרטי על בסיס קווים מנחים של המחוקק גמישות חלקית 	<ul style="list-style-type: none"> העדר התמחות מקצועית בארגון אחד אכיפה לאחר מעשה בלבד עלול להגביר את חוסר ודאות לא מתערב במערכת יחסי הכוחות הקיימים שבו יתכן יתרון לגורמים מסוימים 	מתאים בעיקר לאזורי סיכון בינוני וגבוה
אסדרה באמצעות פיתוח שיפוטי	ללא חוק ספציפי	<ul style="list-style-type: none"> ללא חיכוך רגולטורי או משפטי ישיר גמישות מאפשר פיתוח שיפוטי 	<ul style="list-style-type: none"> בדרך כלל פיתוח שיפוטי יהיה במקרים מובהקים יותר של נזק – ולכן לא ברור שיאפשר מענה הולם לכל טווח הסיכונים לנזק העדר התמחות מקצועית בארגון אחד חוסר ודאות יתרון לשחקנים חזקים 	מתאים למצבים של סיכון בינוני ואי בהירות לגבי כיווני הפיתוח
אסדרה באמצעות תקינה מקצועית או של קהילה מקצועית/אתית	מאפשר ייבוא בידי המשפט בעתיד	<ul style="list-style-type: none"> גמישות גבוהה בקהילה המקצועית תהליך שיתופי 	<ul style="list-style-type: none"> סיכון להדרה של המשפט וערכיו תלות במשפט לקבלת תוקף מחייב, פיקוח ואכיפה יתרון לשחקנים חזקים 	מתאים לאזורי סיכון בינוני ונמוך, ומתאים כמסגרת לפיתוח ובחינה של החלטת העקרונות האתיים
אסדרה לא-משפטית	ללא נורמה משפטית (למשל החלת עקרונות אתיים)	<ul style="list-style-type: none"> גמישות גבוהה בקהילה המקצועית 	<ul style="list-style-type: none"> סיכון להדרה של המשפט וערכי היסוד שלו (שוויון, הגינות, זכויות אדם) תלות בקהילה המקצועית לפיתוח חסר מנגנון אכיפה אמין יתרון לשחקנים חזקים 	מתאים לאזורי סיכון נמוך, שם מספיקה אסדרה לא-משפטית, ואזורי סיכון גבוה, שם ההתפתחות הטכנולוגית מהירה יחסית לאפיק המשפטי

בפרק 2 הציע הצוות כלי לקבלת החלטות בתחום האתי. במסגרת הכלי, הציג הצוות סדרה של שאלות למקבלי ההחלטות (ראה סעיף 2.2.1) ופרמטרים אותם זיהה הצוות כחשובים להילקח בחשבון בתחום הבינה המלאכותית. פרמטרים אלה כוללים את: עוצמת הפגיעה הפוטנציאלית בפרט, עוצמת הפגיעה הפוטנציאלית בציבור, השפעה על הרצאת משאבים, השפעה על תודעה, עוצמת הפגיעה במקרה שיעשה שימוש לרעה או שהמוצר יצא משליטה, גיוון צוות המחקר והפיתוח, ועד כמה מהר אפשר לאתר תקלות. לפרמטרים אלה, מעבר להתייחסות האתית שעל מקבלי החלטות לתת את הדעת, יש השפעה על ההחלטה באיזה סוג אסדרה לנקוט.

לצד פרמטרים אלה, המצדיקים גישה מתערבת יותר של אסדרה, ציינו חברי הצוות את החשיבות של העלאת מודעות הציבור באופן כללי להיבטים החיוביים והמתגרים, כאחד, של בינה מלאכותית וחינוך לאתיקה, שהם לא בסמכות צוות זה.

3.2 עקרונות פעולה כללים המוצעים על ידי הצוות

הצוות מצא לנכון להציע מספר עקרונות פעולה מנחים, נוכח מאפייניה הייחודיים של טכנולוגיית הבינה המלאכותית ויישומיה החברתיים אותם יש לכלול במסגרת פיתוח המודל האסדרתי.

א. התאמה לחקיקה ולתקינה בינלאומית וקידום מדיניות ישראלית בזירות הבינלאומיות

יש להדגיש כי כל מודל מוצע בתחום מחייב התאמה לחקיקה ולמדיניות המקובלת במדינות המפותחות, על מנת שישראל תוכל להישאר בחוד החנית של פיתוח הבינה המלאכותית וכדי לוודא שהרגולטור הישראלי לא מערים קשיים על מרכזי הפיתוח והתעשייה המקומיים, ביחס למדינות המפותחות בעולם. בתוך כך יש להתייחס לא רק למדינות האחרות ולמדיניות הנהוגה בהן, אלא אף להחלטות האזוריות ולהחלטות הגופים הבינלאומיים בתחום ובכלל זה בהחלטות ה-OECD והחלטות ה-World Economic Forum (WEF)¹⁰⁷. במסגרת מימוש עיקרון זה נדרשת הממשלה גם לקדם באופן פרואקטיבי את האינטרסים והערכים החשובים לקידום המדיניות הישראלית בזירות הבינלאומיות בהן מתנהל שיח זה, כדי להשפיע על ההסדרים טרם שהתגבשו.

יתר על כן, אם מדינת ישראל רוצה למצב את עצמה כמובילת דעה בזירה הבינלאומית, הצוות ממליץ לייצר עמדה ממשלתית ברורה שתוצג בבמות הבינלאומיות החשובות. במזכר עבור הצוות שנכתב על ידי ד"ר רועי שיינדרוף, המשנה ליועץ המשפטי לממשלה (משפט בין-לאומי) במשרד המשפטים, מופו הזירות הבינלאומיות החשובות העוֹסקות בתחום זה. נראה כי נכון יהיה לייצר עמדה ברורה ואחידה של מדינת ישראל, שתוצג בבמות אלה כאמור¹⁰⁸.

ב. מיפוי השחקנים השונים בתחום על מנת ליצור מסגרת מותאמת של אחריות ומערכת תמריצים

קידום ומימוש של מדיניות רגולטורית מבוססת גם על התאמה לתמריצים השונים שיש השחקנים הפועלים בשדה המוסדר. בהתאם לכך, הצוות ממליץ למפות את השחקנים השונים המצויים בשרשרת הערך ובאקו-סיסטם של המוצרים והשירותים בתחום זה, את התמריצים שלהם להפנים את העקרונות האתיים והמהותיים שתוארו בחלק הקודם. במיפוי יש לכלול גם את גורמי המחקר הבסיסי, המחקר היישומי, המחקר התעשייתי, הגורמים המיישמים וכדו'.

כפועל יוצא מכך ניתן יהיה לבחון את האחריות להטמעת ולמימוש העקרונות המנחים של כל שחקן. מוצע כי האחריות תקבע בהתאם לתפקיד היחסי בשרשרת ותוך הבנה של משמעות הטלת האחריות אל מול היכולת לעשות שימוש בטכנולוגיית הבינה המלאכותית באופן יעיל חברתי. בהקשר זה יודגש כי קידום תמריצים לשחקנים

107 כך למשל, מכח החלטת ממשלה 4481, רשות החדשנות משתפת פעולה עם ה-WEF ומשתתפת ברשת בינלאומית לרגולציה של טכנולוגיות חדשניות (בין השאר, בינה מלאכותית).

108 ד"ר רועי שיינדרוף, 2019, גיבוש אסטרטגיה ישראלית בתחום הבינה המלאכותית – היבטי המשפט הבין-לאומי, מזכר מטעם משרד המשפטים שהוגש לעיון הצוות.

השוניים יכול להיעשות בכל אחד מהמודלים האסדרתיים שתוארו בטבלה מס' 3, כלומר בדרך של הטלת אחריות, הבהרת אחריות, הטלת חובת ביטוח או אסדרה מראש. נראה כי יש מקום לבחון האם הדין האזרחי מספק מענה מעודכן לסוגי הסיכונים והפעילויות הקשורות בבינה מלאכותית.

ג. עיקרון האחראיות (accountability) והתאמה שלו לדינאמיות של תחום הבינה המלאכותית

רגולציה מודרנית של טכנולוגיה (למשל רגולציית הפרטיות) מביאה בחשבון את האתגר של בהתאמת מסגרת ערכית להקשר טכנולוגי וכלכלי מסוים. עקב כך עיקרון מנחה חשוב בדיני הפרטיות המודרניים הינו עיקרון האחראיות – אחריות ההנהלה לבחון באופן קונקרטי את הסיכונים הנובעים לערך המוגן מהפעילות המוצעת, ולהתאים לה מסגרת ניהול סיכונים. יישום תפיסה זו בתחום הבינה המלאכותית מחייב להתמודד עם המאפיינים הייחודיים של הטכנולוגיה, ובהם הקושי לצפות במדויק את האופן שבו היא תפעל בנסיבות מסוימות, ולהסביר במדויק את האופן שבו היא פועלת.

לצורך יישום עיקרון האחראיות בהקשרי בינה מלאכותית, נראה כי יש להוסיף עיקרון רגולטורי המחייב את האר"גון המיישם טכנולוגית בינה מלאכותית לקיים "מרחב ניסוי" ו-"מעגלי בקרה" בטרם מימוש בפועל של הטכנולוגיה. מובן כי רמת ועומק הניסוי הנדרש הינו בזיקה לעקרונות המהותיים שתוארו לעיל ולהיקף ההשפעה המשוערת של הטכנולוגיה¹⁰⁹.

ד. קידום בהירות נורמטיבית בשלבים קריטיים של שרשרת הערך של מוצרי בינה מלאכותית

השלבים הראשונים של פיתוח מערכת הבינה מלאכותית - הבנת הצורך העסקי, איסוף הנתונים, ארגון הנתונים, בנייה והערכת המודל, הפצה ומעקב אחרי ביצועים - יכולים להיות משמעותיים לקידום הערכים והטמעת העקרונות. על כן, הצוות סבור כי קידום רגולציה המסייעת בשלבים אלה יכול לסייע רבות בהטמעת העקרונות והערכים כאמור. ראינו כי קיים חסר במסדי נתונים מאוזנים לשימוש פתוח, על מנת לאפשר גם לחברות קטנות להצליח בתחום.

ה. הצורך במעגל בחינה קבוע של המדיניות הרגולטורית בידי הרגולטור

נוכח מאפייניו של תחום זה, ניתן להניח כי מדיניות רגולטורית ובחינה שנעשית במציאות טכנולוגית מסוימת תדרוש עדכון ובחינה בפרקי זמן קצרים יותר ממחזור הבחינה הרגיל של רגולציה. בנוסף, מוצע כי רשויות האסדרה ישלבו עיקרון תהליכי שלפיו יתאפשר ניסוי מבוקר של המדיניות הרגולטורית המיושמת בהקשר מסוים, בין היתר בשים לב למידת חדשנותו או הסיכונים הקשורים במימושו. בנוסף, עיקרון זה מאפשר להתמודד עם האתגר של איזון בין הרצון לחדשנות לבין חוסר הוודאות לגבי השפעתם על היבטים איתיים.

ו. בחינת שימוש בתפיסת סביבה רגולטורית מבוקרת (regulatory sandbox) –

הרעיון של יצירת מרחב ניסוי ליישומים יותר חדשניים ועם הסתברות לסיכון גבוהה, בתנאים מבוקרים צובר תאוצה. בשנים האחרונות במסגרת הניסיון לכייל את המדיניות הרגולטורית באופן שהיא אפקטיבית חברתית מבלי לפגוע בחדשנות, פותחה תפיסה של "ארגז חול" רגולטורי, המאפשרת לגורמים הפועלים בתוך "ארגז החול", לבחון בתנאים מבוקרים פעילויות חדשות, שעלולות להיות מפרות דין. לתפיסה זו ערך רב בתחום הבינה המלאכותית בשל הרצון לאפשר חדשנות מצד אחד והתמודדות עם סיכונים לא צפויים לאינטרסים חברתיים מצד שני. הצוות ממליץ לייצר רגולציה מתאימה כדי לאפשר סביבה כזו.

על כן, בהתאם למדיניות הממשלתית הישראלית בנושא זה, ובכפוף לה, ובהמשך להמלצות דומות המתגבשות ב-OECD, הצוות ממליץ לבחון את האפשרות לשימוש בתפיסה זו גם בתחום זה.

ז. הממשק בין עקרונות הפעולה המוצעים לבין התשתית הרגולטורית הקיימת

במסגרת הפרק הראשון והשני נדונו ההיבטים הייחודיים של מערכות הבינה מלאכותית. מאחר שהטכנולוגיה היא טכנולוגיה כללית, יישומיה והסיכונים הנובעים ממנה הם תלויי הקשר. תחומים רבים מוסדרים כבר ברגולציה קיימת. על כן, ישנה חשיבות להבין את השיקולים, הערכים, האינטרסים והתועלות החברתיות האפשריות באותם התחומים, בטרם יוחלט על רגולציה חדשה או מותאמת. מאפיינים אלה אף משפיעים על התוצאה הערכית המבוקשת ועל הדרך לממש אותה.

נוכח מאפייני מערכות הבינה מלאכותית, ולאחר שהוצגו השלבים הקריטיים בפיתוח המערכת מבחינת הטמעת הערכים והעקרונות, הצוות ממליץ להתחיל באיתור הרשויות המסדירות את נושא משאבי מידע המשמשים לעיבודי טכנולוגית בינה מלאכותית, וכן את אותן רשויות אסדרה האחראיות על שוק המוצר שיווצר. איתור רשויות אסדרה אלה יסייע בהסרת חסמים לשימוש בבינה מלאכותית ולהתאמה של המעטפת הרגולטורית לסיכונים הקיימים מהמערכת.

בפרט, כל רשות אמונה לבחון את השלכות מערכות הבינה מלאכותית על התחום אותו היא מסדירה. כך, למשל, משרד הבריאות אמן על בחינת תחום הבריאות ושילוב בינה מלאכותית בתוך המערך על כל ההשלכות הקשורות בכך. מן הראוי שמערך הסייבר יבחן את השלכות שילובה של מערכות בינה מלאכותית הן בהגנה על מדינת ישראל והן בהתמודדות אל מול שילוב מערכות בינה מלאכותית במדינות אחרות.

ח. היבטים מוסדיים רוחביים קיימים – הרשות להגנת הפרטיות

כפי שתואר בפרק הקודם, דיני הגנת הפרטיות במידע מסדירים את השימוש במידע אישי, ונועדו להגן על האוטונומיה של הפרט. עקב כך, לרשות להגנת הפרטיות תפקיד רוחבי כללי ותשתיתי בכל הקשור להסדרת השימושים במידע אישי בהקשרי בינה מלאכותית. כפועל יוצא מכך:

1. הצוות ממליץ כי בכל הקשור למימוש בינה מלאכותית הכרוך בעיבוד מידע אישי, או שיש לו השלכות על קבלת החלטות מבוססות מידע אישי המוסדרות באמצעות דיני הפרטיות, רשות האסדרה המובילה תהיה רשות הגנת הפרטיות, אשר תפעל בתיאום עם רשויות האסדרה הייעודיות, ככל שיהיו.

109 ראו בעניין זה את הצו הנשיאותי האמריקאי מ־2019, לגבי הצורך בקידום תקנים טכניים לבחינה ופריסה בטוחה של טכנולוגיות בינה מלאכותית <https://intelligence-artificial-in-leadership-americas-accelerating/articles/gov.whitehouse.www>

2. בהתאם לכך הצוות ממליץ כי רשות הגנת הפרטיות תבחן את העקרונות המנחים שהוצגו לעיל ותגבש תכנית מימוש בתחומי המידע האישי בהקשר של בינה מלאכותית.

3. בפרט, נראה כי יש לוודא כי לרשות הגנת הפרטיות משאבים טכנולוגיים וחומריים לפתח מסגרת טכנולוגית ומשפטית מעודכנת לתחום אנונימיזציה של מידע. היכולת לבצע אנונימיזציה של מידע אישי, ברמת סמך סבירה, היא יכולת תשתיתית לפיתוח וקידום בינה מלאכותית¹¹⁰.

ט. היבטים מוסדיים רוחביים קיימים – רשות התחרות (לשעבר הרשות להגבלים עסקיים)

טכנולוגית בינה מלאכותית מתוארת בהקשרים מסוימים כטכנולוגיה תשתיתית, המשפיעה או מכתיבה את אופן הפיתוח והשימוש בטכנולוגיות נוספות המבוססות עליה. במובנים אלה חלק מהפיתוח והיישום של טכנולוגיות בינה מלאכותית במקום שבו משאבי המידע הנדרשים לפיתוח הטכנולוגיה או אופן המימוש של הטכנולוגיה מצויים בידי בעלי "כוח השוק", עלולים להביא לפגיעה בתחרות ההוגנת ובמקסום הערך של טכנולוגיה זו לחברה.

הדברים נכונים במיוחד לפלטפורמות מידע בעלות כוח שוק הנובע ממעמדן בכלכלת הרשת בשווקים "דו צדדים". בהקשר זה נזכיר כי הצוות מיפה את נושא קיום השוק התחרותי כאחד מהערכים האתיים בדו"ח זה (ראה סעיף 2.1.6). בהתאם לכך, הצוות ממליץ כי הרשות לתחרות תגבש דרכי התמודדות שמטרתן שמירה על תחרות הוגנת בתחום; ושמירה על צרכנים ועל נגישות הטכנולוגיה; ומניעת גלגול סיכוני הטכנולוגיה או עלויותיה באופן שאינו יעיל לשחקנים חלשים יותר במורד "שרשרת הערך". מן הראוי לציין, כי ככל הידוע לצוות, רשות התחרות בוחנת בעת כתיבת הדוח את הצורך בגיבוש כלי התערבות רגולטורים בתחום המידע והטכנולוגיה¹¹¹.

י. הצורך במנגנון תיאום ממשלתי על-משרדי

מכיוון שטכנולוגיות הבינה המלאכותית תשפענה רבות על היבטים שונים של תחום האסדרה, הצוות ממליץ להקים מנגנון תיאום פנים ממשלתי על משרדי. כל זאת, על מנת ליצור מדיניות אחידה, ברורה וקוהרנטית, בין כלל משרדי הממשלה. מכיוון שלכל החלטה בתחום הבינה המלאכותית השפעות רוחביות מידיות, יש לבחון את כלל ההיבטים הרלוונטיים של כל החלטה על הרגולטורים השונים ועל החברה בכללותה.

בנוסף לתיאום הכולל והמנחה, אנו צופים שיעלה הצורך במקרים מסוימים בתיאום בפרויקטים רוחביים חוצי-משרדים, למשל בתחבורה חכמה, המשלבת את משרד התחבורה, משרד הפנים, ביטחון פנים וכדומה. בהתאם לכך מוצע להקים מנגנון תיאום ממשלתי בפורמט אפקטיבי כדי להעביר מידע מקצועי ורגולטורי בין הגורמים השונים ולאפשר להם קבלת החלטות מבוססת תמונה רחבה יותר.

בנוסף הצוות ממליץ כי יוקם מנגנון תיאום ומוקד ידע ממשלתי כדי לסייע לממשלה ולרשויות האסדרה בקידום הנושא באופן קוהרנטי. בדיוני הצוות עלה חשש מפני אי תיאום או סתירות שעלולות להיגרם כפועל יוצא של ההצעה להתבסס על רשויות האסדרה המגזריות. הצוות לא דן במאפייני המנגנון אלא ממליץ על הצורך בקיום פונקציה כזו במסגרת ההיערכות האסדרתית.

יא. רשויות האחראיות על משאבי מידע

רשויות שיש להן אחריות בתחום משאבי מידע המשמשים לעיבודי טכנולוגיית בינה מלאכותית, מאסדרות את המשאב הבסיסי המניע את היכולת הטכנולוגית. לרשויות אלה תפקיד מפתח בבחינה האם המסגרת האסדרתית שהן מפעילות מתאימה להשגת התועלת החברתית המצרפית בשדה זה, תוך שמירה על שוק תחרות הוגן וחופשי ותוך שמירה על זכויות אדם שונות. במסגרת זו יש לתת את הדעת לא רק לסיכונים אלא גם למרחבי החדשנות ולאופן שבו התרת שימושים וקביעת אפשרויות שימוש אחראיות במשאבי מידע יקדמו אינטרסים חברתיים.

הצוות ממליץ כי רשויות האחראיות על תחומי פעילויות המושפעים מהתוצרים של עיבוד משאבי מידע, יידרשו לבצע בחינה בהתאם לעקרונות העל. עליהן לבחון האם בעת פריסה של טכנולוגיות בינה מלאכותית או שימוש בהן בתחומי הפעילות המאוסדרים על ידן, יש צורך בהתאמה של המסגרת החלה כדי לקדם את ההגנה על האינטרסים המאוסדרים.

110 Polonetsky, Jules and Tene, Omer and Selinger, Evan, 2018, Consumer Privacy and the Future of Society, In: The Cambridge Handbook of Consumer Privacy, Eds. Evan Selinger, Jules Polonetsky and Omer Tene, <https://ssrn.com/abstract=3158885>

111 ראו את קריאת הרשות לחדשנות <http://www.antitrust.gov.il/subject/166/item/35243.aspx>

נספח א' – הרחבה על המצב בארה"ב ובאירופה

בארצות הברית פורסם ב-11 בפברואר 2019 צו נשיאותי שנועד לשמר את ארצות הברית כמובילה בתחום הבינה מלאכותית¹¹². בצו מציינים את חשיבותה של טכנולוגיית הבינה מלאכותית בצמיחה הכלכלית של ארצות הברית, בביטחון הלאומי ובשיפור איכות החיים. בצו מציין הנשיא כי ארצות הברית חייבת לקדם את פריצות הדרך הטכנולוגיות בתחום הבינה מלאכותית בקרב הממשל הפדרלי, התעשייה והאקדמיה. בנוסף צוין כי ארצות הברית מחויבת להוביל בפיתוח סטנדרטים טכנולוגיים מתאימים ולהפחית את החסמים לבדיקת ולהטמעת טכנולוגיית בינה מלאכותית באופן בטוח. כל זאת, על מנת לאפשר לתעשייה בתחום ליצור טכנולוגיה מבוססת בינה מלאכותית ולחברות קיימות לאמץ טכנולוגיה כזו. כך גם הובהר בצו כי ארצות הברית תקדם סביבה בינלאומית התומכת במחקר בינה מלאכותית אמריקאי וחדשנות ופותחת שווקים לתעשיות בינה מלאכותית אמריקאיות, תוך שמירה על היתרון הטכנולוגי שלה בבינה מלאכותית והגנה על טכנולוגיות הבינה מלאכותית הקריטיות שלה מפני רכישה על ידי מתחרים אסטרטגיים ואומות יריבות¹¹³.

בנוסף, פורסם בארצות הברית מזכר בסוף חודש יולי 2018, בו מוצהר כי יש לדאוג לכך שארצות הברית תישאר מובילה בתחום הבינה מלאכותית. כל זאת משום שהדבר חשוב לביטחון הלאומי וכן לתחרות הכלכלית. על כן, על רשויות הממשל להשקיע בתחום הבינה מלאכותית על כל גווניו – לרבות למידת מכונה, מערכות אוטונומיות ויישומים בחזית של הטכנולוגיה האנושית. המזכר מציין כי על רשויות הממשל לתעדף באופן כללי את ההשקעה בתחום על מנת לשמור את ארצות הברית בחזית הפיתוחים בתחום, ובאופן ייחודי על ארה"ב לתעדף מחקר ופיתוח בתחום המדע של הידע הקוונטי (Quantum Information Science)¹¹⁴.

בצרפת הוגש, דוח בשנת 2018, בו הציעו ליצור מדיניות המותאמת לצרפת שאינה מועתקת ממדינות אחרות. הדוח המליץ להתמקד בארבעה תחומים (סקטורים) אסטרטגיים ולתת את הדעת תחילה למדיניות בינה מלאכותית בהם – בריאות, סביבה, תחבורה ותעשייה ביטחונית-הגנתית. בתוך כך, מציע הדוח ליצור פלטפורמות לכל סקטור כך שניתן יהיה לשתף את השחקנים השונים באותו תחום (תעשייה, ממשל, אקדמיה וכיו"ב) במידע ובהתפתחויות שונות בתחום. כמו כן ציינו בדוח כי יש לחשוב על פיתוח של טכנולוגיית בינה מלאכותית ירוקה וידידותית לסביבה. על מנת לאפשר דיון בסוגיות אתיות עתידיות, שלא חשבו עליהן עוד, הומלץ להקים ועדת אתיקה עצמאית שתוכל לבחון את כל ההשלכות הממשלתיות והפרטיות של טכנולוגיית הבינה מלאכותית וכן תוכל לדון בנושא מסוים או באופן כללי וליצור סטנדרטים בתחום לטובת פיתוח בינה מלאכותית בצורה אתית¹¹⁵.

באיחוד האירופאי קבוצת המומחים HLEG, פרסמה את הדוח של כללים אתיים לבינה מלאכותית. התייחסנו לדוח זה במסמך, אולם היינו רוצים להוסיף. הדוח מציין כי יש לשלב את הדרישות האתיות מבינה מלאכותית כבר בשלבים ההתחלתיים, לרבות בבחירת הצוות שיפתח את הטכנולוגיה, ובין היתר לדאוג גם לכך שהטכנולוגיה תסייע לכולם ללא אפליה, תוכל להסביר את פעילותה ולתת דין וחשבון עליה, לא תפלה לרעה, תכבד את האוטונומיה האנושית, תגן על הפרטיות, תהיה שקופה ובטוחה. יש להטמיע את הקוד האתי בתוך התרבות הארגונית של החברות בעת פיתוח המוצרים, הטמעתם והשימוש בהם וכן לדווח על כך לבעלי העניין. כך, יש לאפשר גיוון בצוותי הפיתוח, בהליך ההטמעה ובבחינת המוצר. לבסוף, יש לזכור כי ערכים אתיים עלולים לעיתים להתנגש ויש לתת לכך את הדעת גם כן. כך, למשל, שקיפות עלולה להביא לשימוש לרעה בזכות הפרטיות. על כן, יש לתעד ולהסביר את ההחלטות המתקבלות תוך הסבר מהו הערך שייפגע על חשבון הערך האחר¹¹⁶.

להרחבת הקריאה לגבי מקורות, דוחות ומאמרים בתחום ניתן לפנות לדוחות מוסד שמואל נאמן. בדוח הראשון למשל, בין היתר אוזכרו סינגפור, בריטניה, איחוד האמירויות הערביות, קנדה, יפן, הודו, האיחוד האירופאי ועוד. בדוח השני, למשל, אוזכרו האיחוד האירופאי, בריטניה, צרפת, סין, אינטל, IBM וגוגל כמו כן בכריקט שיתוף פעולה בין התעשייה לאקדמיה, Future of Life¹¹⁷, ניתן למצוא מדיניות בתחום בינה מלאכותית מארצות שונות. ולבסוף, נציין כי בינואר 2019 נוסד כנס בינה מלאכותית, אתיקה וחברה

בהוואי עם מחקרים מעודכנים בתחום¹¹⁸.

112 <https://intelligence-artificial-in-leadership-americas-accelerating/articles.gov.whitehouse.www/>

113 Ibid. Executive Order on Maintaining American Leadership in Artificial Intelligence, 2019.

114 Mulvaney Mick and Kartsios Michael, 2018, Memorandum – FY2020 Administration Research and Development Budget Priorities

<https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/07/M-18-22.pdf>

115 Ibid. Villani, 2018.

116 Ibid. Ethical Guidelines for Trustworthy AI, 2019

<https://futureoflife.org/ai-policy>

117 <http://www.aies-conference.com>

נספח ב' – מילון מושגים

בינה מלאכותית צרה (Narrow AI)

הכוונה לכלי בינה מלאכותית המסוגלים לפתור בעיות מסוימות או מגוון קטן של בעיות. כלים אלו יכולים להפגין יכולות דומות לאנושיות, או אפילו עולות עליהן, בעת ביצוע המשימות שנועדו לפתור אבל אין להן מגוון רחב של יכולות ובפרט אין להן מודעות עצמית, הכרה ומחשבה. לעומת בינה מלאכותית צרה, מערכות בינה מלאכותית רחבות הן מערכות המסוגלות להתמודד עם מגוון רחב של משימות, בדומה לבני אדם¹¹⁹.

הטיה (Bias)

הטיה היא פגיעה או יתרון הניתן לקבוצת אוכלוסייה מסוימת בצורה לא-מידתית. מערכת מוטה מייצרת חסרון או יתרון לקבוצה אחת באוכלוסייה בצורה עקבית. בבחינת הטיית יש לפעמים דגש מיוחד על הגנה בפני הטיית כנגד קבוצות מוחלשות באוכלוסייה או קבוצות מוגנות.

הוגנות (Fairness)

הוגנות מייצגת מצב שבו יש חלוקה צודקת של משאבים, ללא הפליה כנגד (או בעד) אוכלוסיות מסוימות. הגדרת ההוגנות יכולה להשתנות בין חברה אחת למשניה וגם להשתנות במהלך הזמן עם התפתחות מושגי הצדק. לפיכך, הגדרת מושג ההוגנות נמצאת בדיון מתמיד.

למידת מכונה (Machine Learning)

למידת מכונה היא השיטה המובילה למימוש בינה מלאכותית. בשיטה זו, המכונה לומדת לבצע פעולה על-ידי התבוננות בדוגמאות של ביצוע המשימה. מתוך התבוננות זו, ועל-ידי ההערכה של מידת ההצלחה של כל ניסיון, המערכת מייצרת מדיניות על-פיה היא תתנהג בעת שהיא נדרשת לבצע פעולה. לצורך הדיון במסמך זה, למידה עמוקה (Deep Learning) היא דרך למימוש למידת מכונה.

119 להרחבה Anastassia Lauterbach and Andrea Bonime-Blanc, 2018, The Artificial Intelligence Imperative, Praeger, p. 9-10

9. דוח צוות המשנה של המיזם הלאומי

למערכות נבונות

בנושא קשרי אקדמיה ותעשייה

בראשות ד"ר עמי אפלבוים

סיכום ההמלצות

1. הרחבת העברת הידע מהאקדמיה לתעשייה באמצעות **תמריצים פיננסיים למוסדות האקדמיים** וארגוני מסחור הידע (ות"ת, רשות החדשנות) ומתן מענה הולם לסוגיית השארת הידע שנוצר באקדמיה במימון משלם המיסים, בישראל ולטובת הכלכלה הישראלית.
2. שילובן של חברות המסחור בתוך המוסדות האקדמיים תוך שמירה על האופי העסקי של התנהלותן. (אפשרות ביטול חברות המסחור כמרכזי רווח והפסד).
3. קיצור משך תהליכי מסחור הידע מהאקדמיה לתעשייה, והגדלת השקיפות ובהירות התהליך.
4. הקמת מרכזי שרות טכנולוגיים (עצמאיים) לתעשייה בתחומי ידע ספציפיים.

אופן המימוש

הקמת שולחן עגול בראשות ות"ת ורשות החדשנות שיכלול נציגי תעשייה, ממשלה ואקדמיה (לרבות חברות המסחור) שיבחן דרכים מוסכמות לקידום הסוגיות לעיל.

הרחבת ההמלצות

1. הרחבת העברת הידע מהאקדמיה לתעשייה באמצעות **תמריצים פיננסיים למוסדות האקדמיים** ומענה להשארת הידע לתועלת הכלכלה הישראלית
 - א. יש לקבוע דרישות דומות לכל הגופים התומכים במו"פ כולל הגופים התומכים ביצירת ידע ות"ת שתיות באקדמיה במימון משלם המיסים. בנוסף לדרישות הללו מומלץ לקבוע תמריצים חיוביים כמפורט לעיל.
 - ב. כמו כן, מומלץ לקבוע ועדה, בדומה לוועדת המחקר של הרשות הלאומית לחדשנות, שתוודא מיצוי תהליך המסחור בישראל ותאפשר הוצאת ידע תוך שמירת האינטרסים של משלם המיסים הישראלי.
 - ג. אימוץ כללי חוק המו"פ באשר לבעלות על קניין שפותח בכספים ציבוריים על ידי שאר גופי מימון המחקר הממשלתיים וקרנות ייעודיות של האקדמיה.
 - ד. יצירת סל תמריצים לחברות המסחור על מנת למסחר ידע בישראל.
 - ה. יצירת תמריצים למסחור לחברות בינלאומיות בעזרת שותף מקומי קיים או הקמתו (בדומה לה' תניות רש"ת).
 - ו. קביעת KPI להעברת הידע ולמסחור בישראל והתניית מתן התמריצים בעמידה ב-KPI. לדוגמא:
 - i. סך הזכיות וסך המענקים אשר התקבלו מקרנות התומכות במו"פ יישומי
 - ii. מספר הפטנטים שרשם החוקר/המוסד האקדמי
 - iii. סך עריכת רישיונות/מכירת פטנטים בשנה לחברות ישראליות
 - iv. מספר רישיונות שתורגמו להצלחה עסקית – קרי – גיוס כספים, הגדלת מספר משרות, יצירת מכירות ורווחיות
 - v. מינון אנשי סגל וסטודנטים העוסקים ביעוץ עבור חברות ישראליות

- vi. מספר הסכמי מחקר ממומן ארוך טווח באקדמיה ע"י גורם תעשייה
- vii. מינון החברות שהוקמו ביוזמת האקדמיה/חברי סגל
- viii. רמת מעורבות ארגון המסחור בחינוך ליזמות והתנסות במוסד האקדמי
- ix. זמני תגובה ממוצעים בתוך תהליך המסחור ואורכו של תהליך המסחור מתחילתו ועד סופו

- ז. פתיחות גבוהה לחברות לחלוק תוצרי ידע ונתונים לאקדמיה על בסיס וולונטרי וללא תמורה וללא עלות.
- ח. הגדלת תקציבים ייעודיים להשבחת טכנולוגיות וכיתוח מו"פ יישומי והעברתו לתעשייה בישראל.
- ט. מימון "יזם עסקי מלווה" לחוקר/לחברת המסחור לטיוב הידע לטובת התעשייה לאורך תהליך הפיתוח היישומי.

2. שילובן של חברות המסחור בתוך המוסדות האקדמיים תוך שמירה על האופי העסקי.
 - א. ביטול הקונפליקט הקיים היום בין אנשי הסגל לחברות המסחור באשר למיקוד מאמצי המסחור.
 - ב. קביעת תמריצים לחברי הסגל למסחר את מחקריהם (התחשבות בזכייה במענקים של קרנות תומכות מו"פ יישומי ומספר הפטנטים לצורך קידום במוסד האקדמי) והגשת סיוע עסקי בהתאם בעזרת מימון גבוה יותר להכוונת ידע באקדמיה.

3. קיצור משך תהליכי מסחור הידע מהאקדמיה לתעשייה, והגדלת השקיפות ובהירות התהליך.
 - א. יצירת תבניות הסכם לכלל חברות המסחור שיקיפו את מירב עסקאות המסחור (כגון הסכמי סודיות, הסכמי שירות, הסכמי רשיון בלעדי ולא בלעדי, הסכמי אופציה לרישיון).
 - ב. קביעת תחומי זמן מוגדרים לתהליכי ביניים וסיום התהליכים השונים – מקסימום 9 שבועות.
 - ג. קביעת הליך בוררות לפתרון חוסר הסכמה בתהליכי המסחור.

4. הקמת מרכזי שרות טכנולוגיים לתעשייה בתחומי ידע ספציפיים
 - א. הגדלת תקציב העברת ידע כמנגנון מחקרים משלימים למחקר הבסיסי על מנת לאפשר בחינת סיכויי המסחור וטיוב התוצאות.
 - ב. הקמת גוף משלים למחקר היישומי הקיים היום באקדמיה – פתרון "כשל שוק", עם יכולות קיום עצמאיות.
 - ג. הגדרה מדויקת של נושאים "קריטיים" סביבם יוקמו מרכזי השרות.
 - ד. בראש המרכזים יעמוד מנכ"ל עם רקע עסקי אשר ידווח למועצת מנהלים.
 - ה. מרכזי השרות יוכלו להקים חברות על סמך ידע יישומי שיפותח במסגרתם.

נימוקים והסברים שהובילו להמלצות

1. הבטחת השארת הידע שנוצר באקדמיה במימון משלם המיסים הישראלי בישראל.
 - א. מספר גופים ממשלתיים תומכים במו"פ חדשני (למשל, רשות החדשנות, ות"ת, מדענים ראשיים של משרדי ממשלה, כמו משרד הבריאות, החקלאות והאנרגיה). הגוף היחיד המבקש התחייבות שתוצר המו"פ יקדם תעשייה הישראלית הוא הרשות הלאומית לחדשנות. חוק המו"פ מסדיר את אפשרויות הוצאת הקניין הרוחני לחו"ל ומסמיך את ועדת המחקר לאשר את הוצאת הידע על ידי פיצוי המדינה בתשלום תמלוגים מוגדלים או הכנסת זכויות שימוש של ידע חלופי לישראל.
 - ב. קשרי אקדמיה-תעשייה במדינת ישראל מנהלים על ידי למעלה מ-20 חברות מסחור שונות הפועלות בישראל ליצירת קשרים איכותיים ופעילים בין מוסדות המחקר והתעשייה המקומית והעולמית.

חברות המסחר מוכרות את ה-IP והרישיונות לכל המרבה במחיר על מנת למקסם את רווחיותם ואינן עושות מאמץ מיוחד למסחר לחברות ישראליות. על אף שבכפועל 75% ממספר העסקאות נעשות עם חברות ישראליות, אנו צופים עליה במספר העסקאות עם גורמים מחוץ לישראל לאור מגמות הגלובליזציה.

ג. כתוצאה מהטמעת טכנולוגיות מדעי הנתונים והבינה המלאכותית בכל תחומי החיים העברת הידע מהמחקר הבסיסי למחקר היישומי לתעשייה ולהשפעתו על הכלכלה המקומית והעולמית, תהליך המעבר התקצר במידה משמעותית והוא המאפשר למדינה למצות את יכולותיה המדעיות והטכנולוגיות להניע ולהאיץ את גלגלי הכלכלה המקומית והשפעתה על הכלכלה העולמית.

2. שילובן של חברות המסחר בתוך המוסדות האקדמאיים תוך שמירה על האופי העסקי של התנהלותם

א. על מנת לשמר ואף לחזק פעילות זו, ראוי לבחון באופן שוטף את פעילותן של חברות המסחר של האוניברסיטאות, מכוני המחקר ובתי החולים בארץ, השפעתם על הכלכלה והתעשייה בארץ ברמה הלאומית וברמה הפרטנית ולהתאימן לשינויים העוברים על העולם ולהגדיר את מטרות ומבנה פעילותן, וכפועל יוצא מכך את מדדי הביצוע שלהן.

ב. חברות מסחר הידע מתקיימות בקונפליקט מתמיד בין השאיפה להרחבת פעילויות מסחר הידע ויצירת ערך עבור מוסד המחקר (הדורשת השקעה ארוכת טווח בתשתיות ובהשבת טכנולוגיות), לבין קיומן הפיננסי המידי הנגרר מחלקן היחסי (והמצומצם) בהכנסות השוטפות לאותו מוסד. זוהי משוואה בלתי אפשרית הגוזרת על הרוב המוחלט של חברות המסחר התכנסות לפעילות מינימלית, דפנסיבית, וממוקדת טווח קצר – פעילות שאינה משרתת את מטרות מוסד המחקר וממילא אינה אופטימלית בהקשר של קשרי אקדמיה-תעשייה.

3. קיצור משך תהליכי מסחר הידע מהאקדמיה לתעשייה, והגדלת השקיפות ובהירות התהליך

תלונות רבות נשמעו מצד התעשייה, ובעיקר מצד חברות ההזנק, על זמן ממושך וסחבת במו"מ מול חברות המסחר. בשיחות שערכנו עם חברות המסחר מצאנו שיש חברות מסחר הטוענות שניתן להגיע להסכם תוך 4 שבועות ואחרות טוענות ליותר מ-3 חודשים.

אנו המלצנו על 9 שבועות כערך ממוצע וסביר.

יצירת תבניות, המתאימות לרוב העסקאות, יעזרו בקיצור הזמן, חסכון בעלויות, ובהעלאת הוודאות.

4. הקמת מרכזי שרות טכנולוגיים (עצמאיים) לתעשייה בתחומי ידע ספציפיים.

בקבוצות המחקר האקדמיות מתבצע מו"פ מתקדם אולם בדרך כלל הן חסרות מיקוד, ניהול עסקי, מומחיות ומכשור, הנדרשים כדי להביא את תוצר המחקר לשלב בו תעשייה תרצה לאמצן להמשך פיתוח.

כדי לקדם את יצירת הידע והעברתו למימוש בתעשייה, אנו ממליצים להקים מרכזי שירות ייעודיים, בתחומי ידע ספציפיים שיקבעו, בהם יהיה מנכ"ל עם ניסיון עיסקי תעשייתי רחב, ציוד מתקדם וכ"א מקצועי קבוע, מיומן בפעילות תעשייתית וייעודי לביצוע הפעילות הנדרשת ברמה עולמית. בנוסף, מרכזי השירות הללו יתמקצעו, יצברו ידע וניסיון, יפיקו לקחים ויישמו אותם בפרויקטים נוספים.

מרכזים אלה יוכלו גם לשרת חברות הזנק עם משאבים כספיים ואנושיים מוגבלים, המתקשות להשיג גישה לציוד יקר ומתקדם וכ"א מקצועי לתפעולו ויהוו בסיס להקמת חברות הזנק חדשות.

אמנם קיימים מרכזים דומים בעולם, היכולים לתת שירות, אולם אנו סוברים שיש ערך גדול וסיכויים גדולים יותר להצלחת הפיתוח כאשר יש סמיכות גאוגרפית ודיאלוג ישיר בין נותן השירות ובין הלקוח.

אנו מאמינים שעבודה עם ספקי שירות בארץ תגדיל את הסיכוי שגם המשך הפיתוח יבוצע בישראל.

פערים הקיימים במצב הקיים

החלשת מעמדו של המחקר היישומי בקרב החוקרים ותלמידי המחקר – הניתוק והבידול הארגוני שיוצר המבנה הארגוני שבו חברת המסחר היא ישות נפרדת מהאוניברסיטה, ומוביליה אינם שותפים בהנהלת המוסד, סותרת את המאמץ לעודד ולקרב חוקרים באקדמיה למעורבות במחקר יישומי, גם בארגונים בהם קיים מאמץ שכזה. חזקת ה"זה לא המוסד זו חברת המסחר" משבשת ומקשה על ידי יצירת פערים תרבותיים ונתק תקשורתי (גם אם למראית עין בלבד) בניגוד לקיים בעולם. לא עוזרת העובדה שהמחקר היישומי לא מהווה גורם בעל משמעות בתנאי הקידום של החוקר (קביעות, התקדמות בסולם האקדמי).

פגיעה בערוצי העברת ידע מקבילים – מתוך ראייה מסחרית/עסקית, ועל מנת לשמר ולמצות את פוטנציאל נכסיה האסטרטגיים, יתכן וחברת המסחר תפעל על מנת לצמצם חשיפה של מיומנויות או תשתיות של מוסדות המחקר לתעשייה (קרי ייעוץ של חברי סגל לתעשייה, הגבלה של הסכמי שירות ומימון מחקר ופיתוח בתוך מוסד המחקר), וזאת על מנת לצמצם "זליגה" של ידע ללא תמורה מקסימלית עבור חברת המסחר והמוסד. יש לציין לדוגמה הגבלות קשות על פעילות ייעוץ של חברי סגל, עמדות קשיחות לגבי בעלות בקניין רוחני (גם במסגרת הסכמי שירות לתעשייה), ועוד.

פגיעה אפשרית בפירסום מחקר אקדמי ו-open science – ניתוק חברת המסחר מהמוסד האקדמי מעלה תהיות וספק לגבי יכולתה לאזן בין שיקוליה העסקיים הדוחפים להגנת הקניין הרוחני, לבין פירסום או שיתוף ידע אקדמי בערוצים ציבוריים שהם חלק אינטגרלי מהפעילות האקדמית/מחקרי הכוללת (פרסום בכתבי עת, הרצאות בכנסים, וכו').

הקרבת חשיבה ארוכת טווח לטובת חשיבה קצרת טווח – חברות מסחר הידע, התלויות באופן אבסולוטי בהכנסות שוטפות על מנת לקיים את פעילותן, יתכן ויעדיפו (באופן מודע או בלתי מודע) לפעול למסחר מהיר (גם אם מסחר זה הוא לשותפים פחות איכותיים, מייצר פחות הכנסות, או מגדיל הכנסות מידיות על חשבון הכנסות עתידיות), על פני מסחר איכותי יותר ו/או תמורות עתידיות שמהותן מקסום רווחים אפשרי לאוניברסיטה/ממציא.

העדר תיעודף לקהילה/תעשייה המקומית (ישראל) – כפועל יוצא משיקולי תזרים, חברות המסחר במקרים מסוימים ימנעו מהעברת ידע לתעשייה מקומית על פני תעשייה בינלאומית, ונוטות לקיים פעילות מסחר לשותף הראשון הרלוונטי.

היעדר מעורבות ושירות לאוכלוסיות מגוונות במוסד המחקר – חברת המסחר עשויה לבחור ולהתמקד בנכסי הקניין הרוחני האיכותיים של אנשי הסגל במוסד, ולצמצם תחומי פעילות ומעורבות בהם מעורבים סטודנטים למחקר ואנשי מנהלה במוסד. זאת למרות קיומו של פוטנציאל משמעותי בחשיפתם של תלמידי מחקר ואנשי מנהלה לתעשייה ולפעילות הקשורה בחדשנות ויזמות, שבהן חברת מסחר הידע מהווה מרכז ידע ופעילות משמעותיים.

השפעה על מוניטין – קיים חשש שבמערכת האיזונים בין תועלתה העסקית של חברת המסחר וטובת מוסד המחקר תפעל חברת מסחר הידע על מנת לקיים את פעילותיה תוך התעלמות (או אף גרוע מכך – פגיעה אפשרית) במוניטין מוסד המחקר. פעילות זו יכולה לכלול פעולות מסחר עם גורמי תעשייה מפוקפקים, כניסה לפעילות מסחרית בתחומים או אזורים בהם אין לאוניברסיטה עניין או רצון לפעול, או הגבלת קשרי האוניברסיטה עם תאגידים ומוסדות אחרים מפאת שיקולי בעלות בקניין הרוחני או מאבקים משפטיים.

היעדר מחויבות ציבורית/קהילתית – חברות מסחור הידע פועלות במסגרת שיקולים תקציביים פרקטיים, ולטובת בעלי המניות עד כמה שניתן. להבדיל ממוסדות המחקר עצמם, אין לחברות המסחור מטרות אסטרטגיות המופנות לטובת הקהילה המקומית או הכלכלה הלאומית, ויש להניח כי קידומן של טכנולוגיות בעלות פוטנציאל חברתי/קהילתי ללא פוטנציאל עסקי משמעותי אינן נמצאות בראש סדר העדיפויות (למרות תרומתן האפשרית לקהילה).

התעלמות מידע ומיומנויות בתחומי פעילות שאינם קלים למסחור – חברות המסחור נוטות להתמקד בנכסי קניין רוחני אשר: (א) ניתנים להגנה, ו-(ב) בעלי אפיק רווחי משמעותי. למרות השליטה בכלל הקניין הרוחני שמוסד המחקר מייצר, חברות המסחור ממקדות פעילות שיווקית בחלק מהנכסים, ואינן מנגישות את כלל הקניין הרוחני לטובת הציבור, במיוחד בתחומים בהם ההגנה על הנכסים קשה או בלתי אפשרית (לדוגמה, המצאות עליהן לא ניתן לרשום פטנט) או כאשר התועלת הכלכלית של ההמצאה אינה משמעותית – וזאת למרות התועלת שיכולה לצמוח מהנגשה שכזו בעסקים חברתיים, בתחומי החינוך, ובתחומים אחרים. כמו כן, וכפי שמפורט בחסם האחרון, יתכן ומנגנוני חלוקת ההכנסות בין חברות המסחור למוסדות המחקר מטות את היקף וסוג הפעילות של חברת המסחור כך שלדוגמה, חברת המסחור מתעדת פעולות רישוי קניין רוחני על פני שירותים לתעשייה משיקולי חלקן בהכנסות.

קושי באיתור של המצאות בעלות ערך יישומי – חברות מסחור הידע נשענות בעיקר על נהלי המוסד וקשרים קיימים עם אוכלוסיות מסוימות (ולעיתים מצומצמות) בקרב אנשי הסגל על מנת לאתר ולאפיין תגליות והמצאות חדשות. כגוף חיצוני למוסד המחקר, החברות נמצאות מחוץ למעגל הפנימי של המחקר, והיקף המידע הנגיש להן בנוגע לפוטנציאל המחקר היישומי במוסד מוגבל. דבר זה גורם לתקרה מלאכותית בהיקף הנכסים ופעילות המסחור, כמו גם לקשרי אקדמיה-תעשייה המתקיימים במקביל לחברת המסחור וללא מעורבותה. קשרים שכאלו עשויים להפחית את התמורה לה מוסד המחקר זכאי, איבוד הזדמנויות ליצירת קשרי אקדמיה-תעשייה בטווח הרחוק, ובמקביל ייצור קונפליקטים עתידיים בנוגע לזכויות בקניין הרוחני.

אי ניצול משאבים קיימים וכפילות מאמצים – חברות מסחור הידע פועלות תחת מגבלה תקציבית קיצונית אשר מגביל את היקף פעילותן השוטף. מתוקף ההפרדה בין לבין מוסד המחקר, חברות המסחור לא יכולות לממש סינרגיות ולנצל משאבים קיימים (כגון ייעוץ משפטי, הנהלת חשבונות, מחלקות שיווק, מערכות מידע ועוד) שקיימים במנגנונים וגופים הפועלים במוסד המחקר, ובכך מייצרות הוצאות כפולות.

מגבלות במשאבים להשבחת ידע – קיים פער משמעותי בין בשלות רעיון טכנולוגי שפותח במוסד המחקר (לרוב גם תפיסת הבשלות והערך של רעיון זה בעיני החוקר) והבשלות הנדרשת לשם העברתו המוצלחת (וקבלת תמורה הוגנת בגינו) לשותף תעשייתי. רוב חברות מסחור הידע נאבקות לייצר סל משאבים מינימליים שיאפשר להן לתמוך בפעילות השבחה של טכנולוגיות מסוימות, על מנת לקדם את מיסחורן (בין אם ע"י פעילות מחקר נוספת בתוך המוסד, ובין אם ע"י ביצוע פעולות ע"י קבלנים חיצוניים). משאבים אלה יוצאים לרוב מתוך מאזני חברות המסחור, ולכן הם מוגבלים ביותר (וברוב המוסדות לא קיימים כלל). חשוב לציין שמנגנונים אלה הוכחו בקרב מוסדות מובילים בעולם כיעילים ביותר בהגברת שיעור והצלחת העברת הידע.

נתק ובידוד מהזדמנויות רלוונטיות המתעוררות במוסד המחקר – הניתוק הניהולי/ארגוני ממוסד המחקר שאיתו פועלות רוב חברות המסחור לא מצליח לזהות ולממש הזדמנויות משמעותיות לקידום ומסחור טכנולוגיות שאליהן נחשפים גופים אחרים במוסד המחקר במהלך פעילותם השוטפת (כגון אגף קשרי חוץ, מכון המבקרים, אגף ללמידה מקצועית/המשך, חברות הנכסים, חברות בנות אחרות של מוסד המחקר, וכו'). במקרים חמורים אף יותר, נעשית פעילות מקבילה ומיותרת של חברת המסחור ומחלקות בתוך מוסד המחקר הגורמת לבזבז משאבים יקרים (לדוגמה, אירוח משלחות, הכנת חומרי שיווק, איתור תורמים לתמיכה בתכניות מחקר, וכו').

כשל בהגדרת מטרות ומדידת תפוקות – המבנה הנוכחי מייצר כשל מהותי ביכולת להגדיר מטרות ולמדוד תפוקות של חברות המסחור בישראל. הכשל נובע מכך שחברות המסחור מתבקשות לייצר פעילות מסחור בהיקף משמעותי לטובת מוסד המחקר, אך בפועל נמדדות ומתוקצבות, כתאגיד עסקי למטרות רווח, לא בהקשר של סך פעילות המסחור וההכנסות ממנה, אלא בנגזרת המצומצמת מסך ההכנסות שמוגדרת כהכנסות "נטו" של חברת המסחור עצמה, הקבועה בהסכמים הפרטניים עליהם חתומים חברת מסחור הידע ומוסד המחקר. מצב כזה, בו חייבת חברת המיסחור להתקיים (תקציבית) בצורה עצמאית, דוחף את חברת המיסחור להפחית הוצאות בכח אדם, הגשות פטנטים והשקעה בהשבחת טכנולוגיות, על מנת להגיע לאיזון תקציבי, וזאת בניגוד אפשרי להרחבת פעילות המסחור על מנת לשרת את מטרות מוסד המחקר ולהרחיב את קשריו עם התעשייה.

10. דוח צוות המשנה של המיזם הלאומי

למערכות נבונות בנושא ממשל

בראשות שני שרביט

מטרת המסמך:

גיבוש קווים מנחים להיערכות המגזר הממשלתי להטמעת יישומי בינה מלאכותית במסגרתו

תכני המסמך

- תקציר מנהלים
- הקדמה
- מבוא
- חזון
- מטרות
- מתודולוגיה- מתודת עבודת הצוות ומתודה מומלצת להמשך
- התמודדות עם אתגר יישומי בינה מלאכותית בעולם בסקטור הממשלתי
- 'ארגז-כלים' טכנולוגי נדרש להטמעת יישומי בינה מלאכותית בממשלה
- ההיערכות הארגונית בממשלה להטמעת יישומי AI
- ריכוז ההמלצות

תקציר מנהלים

תחום הבינה המלאכותית, ניצב בשנים האחרונות בחזית המחקר הטכנולוגי. מרבית המדינות המערביות המתקדמות, בראשן ארה"ב וקנדה, פתחו והקצו משאבים רבים למיזמי מחקר ופיתוח שונים, אך לא רק (ראה פרק סקירה ייעודי בהמשך). מדינות בעלות יכולות טכנולוגיות גבוהות, דוגמת סין (שהציבה יעד להיות מדינה מובילה בתחום עד 2030 ולבנות תוך כדי כך תעשייה בשווי של 150 מיליארד דולר) ודרום-קוריאה (שהשקיעה עד כה מעל מיליארד דולר לצרכי מחקר), עוסקות כיום בפיתוחי AI מואצים לתשתיות תעשייתיות ומדינתיות. אחרי 'מהפיכת המידע', התחזיות מצביעות על תחום ה-AI, כאבן-היסוד שעליה ניצבות אבני-היסוד למכלול הפיתוחים הטכנולוגיים החכמים העתידיים.

ממשלת-ישראל, כגוף השואף לספק לאזרחי המדינה שירות מיטבי ואיכותי, **צופה פני עתיד**- נדרשת גם היא לשיפור יכולותיה ע"י שימוש במערכות בינה מלאכותית מותאמות צרכים. הטמעת מערכות מורכבות שכאלו במגזר הציבורי ושימוש מתקדם בהן, דורש בראש ובראשונה שינוי תפיסתי והבנת הערך הרב שיוביל לאימוץ טכנולוגיות אלה במסגרתו.

עבודת הצוות הנוכחי, צוות 'ממשל' (כצוות משנה לפורום המתכלל), נועד לבחון קיום להיערכות הנדרשת למימוש יישומי בינה מלאכותית, **בתוך** מכלול המגזר הציבורי (קרי משרדי הממשלה, חברות ממשלתיות, שלטון מקומי וכו'), לטובת התייעלות הגופים והמשרדים, הרחבת וייעול מגוון השירותים לצרכי הציבור, הגשת שירותים חדשניים ועדכניים ויצירת ערך-מוסף חדש לתוצרי המגזר הציבורי והסקטור הממשלתי, הרבה מעבר לקיים כיום.

עיקרי הנושאים והתחומים בהם עסק הצוות, לטובת גיבוש מסקנות והמלצות (ראה פירוט מלא בפרק 'ריכוז המלצות'):

- 1) הצורך בקביעת תפיסת-הפעלה חדשה, תפיסתית ואופרטיבית למגזר הציבורי, הכוללת מדיניות מחייבת, לרבות גיבוש מטריצת קריטריונים לקבלת החלטות לתיעודף היישום הרחבי במסגרת המשרדים.

2) הצורך הקריטי בגיבוש אסטרטגיית DATA רחבה וכוללת, כהמשך גם לאסטרטגיה הדיגיטלית שאושרה בממשלה, כבסיס מאפשר ליישומי AI (החלטת ממשלה מס' 2733, 1933).

3) פיתוח וקידום פעילות להבאת אחד מיצרני הענן הגלובליים להקמת אזור בישראל.

4) רגולציה ציבורית-ממשלתית- פיתוח והתאמה לצרכים העתידיים.

5) הרחבת אסטרטגיית 'הון אנושי' דיגיטלי למגזר הציבורי לצרכי פיתוח והטמעת מערכות תבוניות.

6) הצורך בהגדרה, פיתוח והטמעת 'ארגז-כלים' טכנולוגי מערכתי חדש, עפ"י תיעודף, לרבות גיבוש 'סל תקציב' ראשוני מומלץ.

7) חשיבות פיתוח והפעלת מנגנון הדרכה ומודעות בקרב מנהלים ומשתמשים.

8) חשיבות פיתוח מנגנון מעקב ובקרה איכותי למימוש מקצועי ונכון לאתגר ארוך הטווח.

הקדמה

במחצית 2018, הטיל ראש-הממשלה על פרופ' יצחק בן-ישראל ופרופ' אביתר מתניה, לבצע עבודת-מטה לאומית שמטרתיה:

- גיבוש תכנית-עבודה לאומית עבור הממשלה, שייעודה לתת כיוון חדש לתעשיית ההיי-טק בישראל ולחזק משמעותית את כלכלת ישראל והביטחון הלאומי סביב הרעיון המאחד של יישומי בינה מלאכותית.
- הצבת מדינת-ישראל בחמישייה הפותחת בין מדינות העולם בתחום המו"פ והטמעת יישומי בינה מלאכותית במכלול רבדי צרכי הציבור, התעשייה והמדינה.

לטובת ביצוע עבודת-המטה הרחבה לעיל, הקימו פרופ' יצחק בן-ישראל ופרופ' אביתר מתניה, 14 צוותי משנה ובראשותם פורום מתכלל, לבחון, לנתח ולגבש בלו"ז של כ-6 חודשים - את כלל הצרכים הלאומיים, הציבוריים, המשק הישראלי על תעשיותיו וכיווניו, המוסדות האקדמיים וגופי המחקר, ולהציג מסקנות והמלצות שיתורגמו להחלטת ממשלה ולהנעת תהליכים מרכזיים ל-5 השנים הקרובות.

כהגדרת התחום, ניתן לומר כי מדובר בטכנולוגיה מתקדמת של אלגוריתמיקה, המחקה רשתות נוירונים של מוח האדם ללמידת הידע התבונתי, ולממש יכולות למידה וניתוח נתונים מהירות ורחבות במיוחד, שבצורה מתקדמת במיוחד, יאפשרו לבצע פעולות העולות על היכולות האנושיות כיום. העיקרון נשען על למידת מכונה, שבמסגרתה המחשב-מכונה לומדים לזהות דפוסים על סמך מאגר עצום של דוגמאות מתוייגות (לדוגמא, למידת זיהוי פנים מתוך מאגר מזוהה) ולא מתוייגות.

תחום הבינה המלאכותית, ניצב בחזית המחקר הטכנולוגי בשנים האחרונות ע"י מרבית המדינות המערביות המתקדמות (בראשן ארה"ב- 3 מיליארד ב-2017 וקנדה 125 מיליון דולר), אך לא רק. מדינות בעלות יכולות טכנולוגיות גבוהות, דוגמת סין (שהציבה יעד להיות מדינה מובילה בתחום עד 2030 ולבנות תוך כדי כך תעשייה בשווי של 150 מיליארד דולר) ודרום-קוריאה (שהשקיעה עד כה מעל מיליארד דולר לצרכי מחקר), עוסקות כיום בפיתוחי AI מואצים לתשתיות תעשייתיות ומדינתיות.

אחרי 'מהפיכת המידע', התחזיות מצביעות על תחום ה-AI, כאבן-היסוד שעליה ניצבים ההבטחות והפיתוחים הטכנולוגיים העתידיים שאמורים לבצע מהפיכה של ממש במכלול עולמות ובראשם – הרכב האוטונומי, זיהוי קול ודיבור, ניתוח מסדי-נתונים בקנה מידה עצום בצורה מהירה, ניתוח ועיבוד הלמידה למסקנות והמלצות, גם תוך המשך למידה מערכתית מתפתחת ללא גבולות, למול היכולות האנושיות המוגבלות.

מבוא

חברות פרטיות ותעשיות גלובליות רבות, פתחו בישראל בשנים האחרונות מרכזי מו"פ ייעודיים מטעמם, לחקר נושא הבינה המלאכותית. זאת, מתוך מטרה לפתח ידע ואמצעים לטובת צרכיהם, ע"י שימוש בנכסי הידע של זרועות ומוסדות המו"פ והטכנולוגיה המתקדמת של סביבת האקו-סיסטם הישראלית המפתחת אמצעי טכנולוגיה חדשניים במיוחד במגוון של תחומים ולאחרונה גם בתחום הבינה המלאכותית.

יחד עם זאת, מדינת ישראל, על שלל מרכזי המו"פ האקדמיים שבה, גופי המחקר הייעודיים, הממשלה ופיתוח מוקדי החדשנות הייעודיים לנושא – נמצאת כיום בפעילות בקנה-מידה נמוך למחקר של תחום הבינה המלאכותית. בנוסף, המדינה עדיין לא החלה בהיערכות ממשית ותוכנית-עבודה סדורה, הכוללת, חזון ברור, מדיניות מאושרת ומטרות מוגדרות להטמעה ולמימוש בתוך הארגונים הממשלתיים לטובת המטרות שהוגדרו לעיל.

כדוגמה לאחד מהכשלים הבולטים ביותר כיום לפיתוח המחקר בתחום, מעבר לסביבות המחקר המדעיות-טכנולוגיות שאינן מפותחות דיין במסגרת המגזר הציבורי, ניתן למנות גם ובעיקר את היעדרו של 'הון אנושי' רלוונטי לידע מחקרי ויישומי כמומחי בינה מלאכותית. עיצוב מערכות תבונתיות שכאלו, דורש יכולות מתמטיות וסטטיסטיות גבוהות במיוחד, לצד ידע מעמיק במדע נתונים. מכלול זה, נדרש בנוסף, ליכולות כתיבת קוד- אלגוריתמים מורכבים במיוחד.

ממשלת-ישראל, כגוף השואף לספק לאזרחי המדינה שירות מיטבי, טוב ואיכותי, נדרשת גם היא לשיפור יכולותיה ע"י שימוש במערכות בינה מלאכותית מותאמות צרכים. הטמעת מערכות מורכבות שכאלו בממשלה ושימוש מתקדם בהם, דורש בראש ובראשונה שינוי תפיסתי, ארגוני והבנת הערך הרב שיושג משימוש במערכות אלו. גיוס גורמי המפתח בגופים המקצועיים, הכשרתם הטכנולוגית ופיתוח תפיסת-הפעלה מושכלת לפיתוח והטמעה, הם הכלים שיובילו לאימוץ הטכנולוגיות האלה במשרדי הממשלה ובגופים הממשלתיים.

בכדי להאיץ ולפתח מנועי-צמיחה תשתיתיים בתחום מורכב זה, נדרש מאמץ לאומי משמעותי במיוחד ולטווח-ארוך, כתוכנית סדורה.

עבודת צוות המשנה הנוכחי, צוות ממשל, נועדה לבחון את מלוא ההיערכות הנדרשת למימוש יישומי בינה מלאכותית, **בתוך** המגזר הציבורי, לטובת התייעלות, צרכי הציבור, הגשת שירותים חדשניים ועדכניים ויצירת ערך-מוסף חדש לתוצרי הסקטור הממשלתי שחסרים כיום.

הצוות הניח לפניו את האתגרים הבאים לדיון, ניתוח, מסקנות והמלצות:

- הגדרת פעילויות תשתיות תומכות- ארגוניות, טכנולוגיות והון אנושי
- הגדרת משרדי ממשלה קריטיים לטובת התייעלות, שירות ויעדים
- פעילויות ממשלתיות-לאומיות חוצי-משרדים
- פרויקטים-פעילויות תשתיות המוגדרים כ'עוגן' לאומי
- מכלול הנושאים שתוכניות-עבודה קיימות, נדרשות לשינויים-תוספות
- הערכה להיערכות תקציבית ראשונית נדרשת.

חזון

כחזון לפיתוח והטמעת יישומי בינה מלאכותית בסקטור הממשלתי בישראל לגווניו, אנו מוצאים לנכון להמליץ על החזון המרכזי הבא:

"משרדי הממשלה וכלל המגזר הציבורי במדינת ישראל יעברו לשימוש ביישומי בינה מלאכותית, עד עשור למלאת החלטת הממשלה לתוכנית הלאומית. יישומי הבינה המלאכותית יתבססו בחלקם גם על מחקר ופיתוח ישראלי וישולבו באופן משמעותי בפעילות הממשלה ויסייעו בקידום השירות לציבור ולמקסום יעדי הממשלה האסטרטגיים"

בתוך כך, יעדי-משנה:

החזון לעיל יכלול פיתוח והקמה של תשתיות גנריות למשרדי הממשלה וכלל הארגונים הממשלתיים במדינת ישראל, בעדיפות ראשונה בתחומים הבאים:

- יצירת אסטרטגיית DATA, כלל-מערכתית וביסוס תשתיות המידע הממשלתיות
- המשך הקמת תשתית מחשוב ענן ציבורי שיפעל מגבולות המדינה
- קליטה והקמה של מוקדי ידע ותוכן של הון אנושי בעלי יכולות מותאמות למחקר, פיתוח, הטמעה ותחזוקה (שילוביות של מיקור-חוץ וגיוס ממשלתי ייעודי)
- גיבוש תפיסת-הפעלה חדשה לשימוש ביישומים ומערכות תבונות
- גיבוש 'ארגז-כלים' טכנולוגי גנרי תשתיתי
- גיבוש תכנית-עבודה אינטגרטיבית ארוכת-טווח
- פיתוח תכנית הדרכה והטמעה לשילוב מדורג
- קביעת גורם-על כממונה ואחראי להיערכות, בקרה ומימוש

מטרות

עבודת הצוות, התחלקה ל-3 סוגי מטרות מרכזיות:

1. לימוד תמונת-מצב נוכחית בהיבט פעילויות קיימות ומתוכננות בתחום ה-AI.
2. גיבוש המלצות שיוכלו להוות בסיס-נתונים ופעולות אופרטיביות ראשוניות, לידי הגורם שיוגדר כממונה על כלל מימוש התוכנית הלאומית, הן כאבני-בניין מערכתיות לרוחב גופי ומשרדי הממשלה והן כאבני-בניין פנים-משרדיים.
3. בחלק מהנושאים, גיבוש המלצות אופרטיביות פרטניות, המהוות תשתית טכנולוגית מערכתית הכרחית, כהיערכות של אבני-בניין לפיתוח וקליטת יישומי בינה מלאכותית.

מטרות מסדר ראשון:

- (1) הבנת תמונת מדע בסיסי-הנתונים כחתך כללי.
- (2) הבנת תמונת החסרים וכשלים נוכחיים, בהיבט הטכנולוגי וארגוני הקיים.
- (3) הבנת תמונת החסרים ליכולות וכישורים נדרשים בתחום ההון האנושי.
- (4) מיפוי היבטים ותחומי פעילות קריטיים לטיפול מועדף.

מטרות מסדר שני:

- (1) הצבת תחום מדע הנתונים בסדר-עדיפות ראשון לטיפול.
- (2) מיפוי השילוב הנדרש למערכות תבונות באסטרטגיה/ת"ע/יעדי הממשלה.
- (3) גיבוש מטריצת החלטות, בעלת קריטריונים מובילים, לתיעודף מערכתי של משרדים וארגונים ממשלתיים בהם ראוי להתחיל בפיתוח ויישום יישומים ומערכות תבונות.
- (4) הגדרת 'נושאי-על' שהינם הכרחיים להתייחסות מקדימה (דוגמת רגולציה), הן להיבטי הפיתוח והן להיבט השילוביות וההטמעה של יישומים ומערכות תבונות.

מטרות מסדר שלישי:

- 1) המלצות להיערכות הארגונית הלאומית הנדרשת, לצד ההיערכות הארגונית הפנים-ממשלתית,
- 2) המלצות להיערכות ראשונית נדרשת של 'ארגז-הכלים' טכנולוגי, שיקבל לאחר-מכן פיתוח והתאמה לדרישות ולצרכים הכוללים בגופי ומשרדי הממשלה.

מתודולוגיית עבודת הצוות ומתודת הפעילות להמשך

מתודולוגיית עבודת הצוות למסמך זה נבנתה ל-3 צירים מרכזיים:

- א. למידת תמונת-מצב מסקירות קיימות מגופים ממשלתיים מרכזיים בישראל, להם קיימת אחריות ו/או פעילות מערכתית: בעיקר, 'ישראל דיגיטלית' ורשות התקשוב הממשלתי. בנוסף, למידת תמונת-המצב במנגנוני ממשלה אחרים במרחב הגלובלי בנושא השימוש ביישומי AI.
- ב. ניתוח וגיבוש 'ארגז-הכלים' הטכנולוגי, המודל הארגוני והיבט ההון האנושי, כתשתיות מערכתיות פנים-ממשלתיות, להטמעה ולשילוביות של יישומי AI במגוון הצרכים הממשלתיים הלאומיים. אלו נחלקו לשניים: היבטים פנים-משרדיים והיבטים מערכתיים לרוחב הממשלה.
- ג. הוספת המלצות פרטניות למתודת עבודה מומלצת בסקטור הממשלתי, ל"יום שאחרי" החלטת הממשלה להנעת התוכנית הלאומית.

המתודולוגיה המומלצת ל"יום שאחרי", נדרשת להתחלק ל-2 תחומים מרכזיים:

- **גיבוש ת"ע פרטנית מתועדכת למימוש 'תחומי-רוחב' תשתיתיים,**
- **גיבוש ת"ע פרטנית מתועדכת למימוש היבטים פנים-משרדיים והון אנושי.**

'תחומי-רוחב' תשתיתיים:

- 1) גיבוש אסטרטגיה ממשלתית, לרבות אסטרטגיית DATA, בהתאם לאסטרטגיה הדיגיטלית שאושרה בממשלה.
- 2) גיבוש תפיסת-הפעלה אופרטיבית כוללת, כמדיניות מחייבת, בכלל זה, מימוש מטריצת קריטריונים לקבלת החלטות לתעדוף היישום הרוחבי.
- 3) קידום פעילות להבאת אחד מיצרני הענן הגלובליים להקמת אזור בישראל.
- 4) רגולציה ממשלתית- פיתוח והתאמה.
- 5) התאמת אסטרטגיית הון אנושי דיגיטלי לממשלה לצרכי מיזם ה-AI.
- 6) הגדרה, פיתוח והטמעת 'ארגז-כלים' טכנולוגי מערכתי עפ"י תעדוף.
- 7) פיתוח והפעלת מנגנון הדרכה ומודעות בקרב מנהלים ומשתמשים.
- 8) פיתוח הפעלת מנגנון מעקב ובקרה איכותי למימוש מקצועי ונכון.

היערכויות פנים-משרדיים והון אנושי:

- 1) גיבוש תפיסת-הפעלה ות"ע בכל משרד וגוף ממשלתי, כנגזרת מהמדיניות הממשלתית המערכתית.
- 2) מיכוי ומינוי בעלי-תפקידים חיוניים ורלוונטיים בכל משרד וגוף ממשלתי.
- 3) מימוש שת"פ מקצועי רוחבי למול משרדים רלוונטיים אחרים.

התמודדות עם אתגר יישומי בינה מלאכותית בעולם

בסקטור הממשלתי - סקירה

כאמור, מערכות בינה מלאכותית (AI) ומערכות מחשב לומדות (ML), קיימות היום במגוון תחומי החיים המודרניים, דוגמת מכוניות אוטונומיות, פענוח הגנום ומכשור רפואי מתקדם ונכנסות היום למגוון מערכות החיים. חלק ממערכות אלו כיום, מראות יכולות שבמובנים רבים עוברות את היכולות האנושיות, ופותרות צוהר לעולם חדש לגמרי של שימושים רבים ומגוונים אשר הולכים ומתפתחים מידי יום ביומו.

הנתונים הגלובליים מצביעים כיום, כי בכל הקשור לפעילות מו"פ בתחום הבינה המלאכותית, מדינת-ישראל נמצאת במקום השלישי בפעילות מיזמי סטארט-אפ האוחזים בכ-11% מהשוק העולמי, אחרי ארה"ב האוחזת בכ-48% וסין עם כ-11 אחוזים (נתוני המכון האירופי Asgard לשנת 2018).

העניין שמגלות ממשלות בטכנולוגיות AI התגבר בשנים האחרונות ברחבי העולם. בשלב זה נראה כי מדובר בעיקר בדיונים, בניית תכניות עתידיות וביצוע פיילוטים ראשונים הנעים מיצירת מערך DATA ממשלתי דיגיטלי (דיגיטציה של מסמכים ממשלתיים) ועד למערכות לתמיכה בניהול אופרציות מורכבות (כגון מערכות לניהול חכם של תנועת תחבורה).

את הדוגמאות הקיימות היום לפרוייקטי AI שיושמו במשרדים וסוכנויות ממשלתיות, ניתן לחלק ל-2 קטגוריות:

1. מערכות לשיפור **השירות לאזרח והמעורבות האזרחית**
2. מערכות לשיפור **יעילות תפעולית**

דו"ח של חברת EMERJ (www.emerj.com) מדצמבר 2018 בוחן פרוייקטי AI שיושמו במדינות שונות:

1. מערכות לשיפור **השירות לאזרח והמעורבות האזרחית**

דוגמא 1.1 - ארה"ב:

US Citizenship and Immigration Services (USCIS)

USCIS הודיעה ב 2015 על השקת צ'ט-בוט בשם אמה (Emma). אמה יכולה לענות על שאילתות בנושאי הגירה ולהוביל את המבקרים באתר של USCIS (כ- 14 מיליון בשנה) ישירות לדף המתאים לנושא החיפוש. במקרים בהם אמה אינה מצליחה למצוא את המידע הנכון, התוכנה מפנה את הלקוח באופן אוטומטי לסוכן אנושי. התוכנה משתמשת ביכולות עיבוד שפה טבעית (NLP) לעיבוד השאילתות ויצירת התשובות. נראה כי תהליך בניית המערכת נסמך על למידת מכונה (Machine Learning) בו הוזנו אלפי הודעות טקסט עם שאלות הגירה נפוצות (כגון שאילתות על סטטוס בקשת ויזה, ועוד). מסרים אלו תויגו ידנית ע"י בני אדם לקטגוריות שונות של שאלות והוזנו למערכת.

דוגמא 1.2 - סינגפור:

Infocomm Development Authority (IDA) of Singapore

ממשלת סינגפור השיקה ב-2014 תכנית בשם Smart Nation Initiative. התוכנית תומכת בסטארט-אפים טכנולוגיים ע"י חבירה איתם לפיתוח משותף ורכש (במקום נתינת מענקים). עפ"י מקורות אינטרנט (לא מאושרים) ב-2017 בלבד הממשלה השקיעה סך של כ-2.4 מיליארד דולר בתוכנית.

במסגרת תוכנית Smart Nation נבחן שימוש בצ'ט-בוטים עבור שירותים ציבוריים. המטרה הינה להפוך את אתרי האינטרנט בשירות הציבורי לנגישים ונוחים לשימוש לכל האזרחים. לאחרונה הכריזה ממשלת סינגפור על חבירה עם חברת מיקרוסופט לשם פיתוח POC לצ'ט-בוטים. מיקרוסופט שואפת להשלים את ה-POC ב-3 שלבים:

- צ'ט-בוט הדור הראשון: יוכל לחפש ולאחזר מידע מתוך מסדי נתונים קיימים באמצעות עיבוד שפה טבעית. הצ'ט-בוט יוכל להפנות משתמשים לדף האינטרנט הנכון (לדוגמא: לשם להגשת טופס ויזה).
- צ'ט-בוט הדור השני: יכלול תכונות נוספות המאפשרות למשתמשים להשלים משימות פשוטות, כגון הזמנת פגישה או ביצוע עסקה באתר ממשלתי (כולל תהליך התשלום).
- צ'ט-בוט הדור השלישי: צ'ט-בוט מותאם אישית, בו המשתמשים יוכלו לשאול שאלות ולקבל מידע מותאם אישית. לדוגמה, המשתמש יוכל לקבל מידע על מסמכים חסרים שעליו לשלוח לסוכנות הממשלתית בהתבסס על רשומות קיימות עבור משתמש מסוים זה.

עפ"י ההודעה לעיתונות, מיקרוסופט תעבוד עם ממשלת סינגפור בכדי לפתוח מרכז מצוינות (CoE) שיעסוק במנהיגות לשינוי דיגיטלי עבור הממשלה והתעשייה. ה- COE יתמוך גם בהוכחת הרעיון עם IDA לפיתוח יכולות שירות לאוכלוסיות רב-לשוניות ואנשים בגילאים שונים.

דוגמא 1.3 - הודו:

(מדינת Andhra Pradesh)

ממשלת Andhra Pradesh הודיעה על שותפות עם חברת מיקרוסופט לפיתוח אפליקציה לאיסוף משוב מהאזרחים דרך מדיה חברתית. המערכת החדשה תמיין באופן אוטומטי את פניות האזרחים ותנתב כל פניה למחלקה המתאימה. התוכנה משתמשת ביכולות עיבוד שפה טבעית (NLP) לעיבוד המשוב מהאזרחי ושיוכו למחלקות.

2. מערכות לשיפור יעילות תפעולית

דוגמא 2.1 - ארה"ב:

City of Pittsburgh - בקרת תנועה אוטומטית

העיר של פיטסבורג שיתפה פעולה עם חברה מסחרית (חברת Rapid Flow Technologies), לפיתוח מערכת בקרת תנועה עירונית ואופטימיזציה אוטומטית של התנועה. בעזרת המערכת, מחלקת בקרת התנועה של העיר יכלה לנהל את זרימת התנועה בעיר ולהשתמש ב-AI כדי למטב את התנועה. המערכת הותקנה בפרויקט פיילוט במספר צמתים. המערכת מקבלת נתונים מחיישנים או מצלמות שהושטלו בתמרורים לשם חישוב מספר המכוניות הזורמות בכל צומת בזמן אמת והתאמת פעילות הרמזורים והמסלולים בהתאם. לשם כך משתמשים בטכנולוגיית ראיית מכונה ואלגוריתם למידה. נטען כי המערכת סייעה להפחית את זמני הנסיעה באזור הפיילוט ב-25%.

דוגמא 2.2 - ארה"ב - אטלנטה:

Atlanta Fire Rescue Department - חיזוי רמת הסיכון לשריפות בבניינים

מחלקת כיבוי-האש באטלנטה יישמה תוכנה שפותחה יחד עם מספר חוקרים מאוניברסיטאות בארה"ב לזיהוי מבנים בעלי סבירות גבוהה לאירועי שריפה (Firebird). בעזרת ניתוח נתונים היסטוריים זהו 58 משתנים כגון מיקום הנכס, גיל הנכס ומבנה וגודל הבניין, המאפשרים לתת ציון של רמת הסיכון לשרפות בבניין. לדברי החוקרים, בניסוי שביצעו התוכנה חזתה 73% של תקריות אש היסטוריות בבניינים.

דוגמאות 2.3 ממשלת יפן:

מספר משרדי ממשלה ביפן החלו לאחרונה בקידום פרויקטי AI כדי לסייע בהגדלת הקיבולת והיעילות התפעולית. בין המשרדים והסוכנויות הממשלתיות המבצעים פרויקטים בתחום נמצאים:

- הסוכנות המטאורולוגית היפנית - פיתוח יכולות חיזוי לתגובות חירום
- משרד הפטנטים של יפן: שימוש ב-AI לבדיקת פטנטים וסימנים מסחריים
- רשויות תחבורה: שימוש ב-AI לתחזיות תנועה וניהול תנועה

הפרויקטים הנ"ל נתמכים ע"י המכון הלאומי למדע תעשייתי מתקדם (AIST) ומשרד הכלכלה, המסחר והתעשייה היפני.

ממשלת גרמניה הפדרלית הודיעה כי היא מגבשת אסטרטגיה לבניה מלאכותית (AI) שתוצג בפסגה הדיגיטלית 2018 בדצמבר האחרון. בהודעה לעיתונות, הממשלה הפדרלית הגרמנית, מסרה כי תתקיים התייעצות מומחה ותובנות אלו ישמשו כבסיס לפיתוח האסטרטגיה. פאנל היועצים יעזור בהגדרת יעדים ותחומי-פעולה לאסטרטגיה שתתקבל בסופו של דבר ע"י הקבינט הפדרלי הגרמני.

'ארגז-הכלים' הטכנולוגי הנדרש

להטמעת יישומי בינה מלאכותית בממשלה ואופן ניהולו

2 נושאים (המהווים תנאי בסיסי) שבלעדיהם לא ניתן לאמץ מערכות בינה מלאכותית הינם:

- **היבט ארגון וניהול המידע-** בכלל זה, קביעת קריטריונים להסדרתו, שמירתו המיטבית ושימוש נכון בו,
- **ההיבט הטכנולוגי-** תשתית מחשוב 'ענן' בגבולות מדינת-ישראל תייצר שימוש בכלים ובמשאבי עיבוד עתירי משאבים המקדמים משמעותית ביצוע עיבודים מורכבים שכאלו.

מערכות בינה מלאכותית מבוססות על היכולת **לקבל ולעבד כמויות גדולות של מידע**. אופי הלמידה העצמאי של מערכות אלו מתבסס על **סריקה מאסיבית של כמויות עתק של נתונים** והסקת מסקנות אשר מלמדות את האלגוריתם כיצד לפעול ולהסיק מסקנות-המלצות.

היכולת של התוכנה למצוא הקשרים ולהסיק תובנות, תלוי בטיב הנתונים ובאחידותם, אלה מאפשרים יצירת תמונה איכותית אשר מקשרת את כלל הנתונים לכדי ישויות מידע מוגדרות.

במצב הנוכחי כיום בממשלה, כל משרד וגוף מנהל עבור עצמו את המידע בתצורה שונה. כך נוצרים בעצם איים של מידע ממשלתי אשר אינם מקושרים ביניהם, אין זיהוי ברור ומוסכם עבור כל ישות מידע ואין Owner מובהק ומוגדר אשר אחראי על קבלת עדכונים ושינויים לישויות המידע השונות.

כיום, תמונת-המצב הארגונית כפי שמתבטאת במידע הנאסף, אינה בהכרח תמונת-המצב הממשלתית אשר נובעת מקישור ישויות המידע על פני כלל המידע הממשלת!

כשלב ראשון להיערכות פיתוח, קליטה והפעלת יישומי AI- על רשות התקשוב הממשלתי וישראל דיגיטלית, **לפעול ליצירת אסטרטגיית Data כלל-מערכתית, אשר תהיה ה'מצפן' לפיתוח אסטרטגיות Data משרדיות**. במשרדים הגדולים עתירי הנתונים, יש לבחון יצירה של תפקידי מובילי דאטה, CDO משרדיים, שיובילו את גיבוש אסטרטגיית הדאטה המשרדית ויפעלו ליישומה. כל זאת, בשיתוף פעולה הדוק עם מנהל מערכות המידע המשרדי!

(לדוגמא: ברמה הטקטית יש לפעול לביצוע מיפוי של ישויות המידע המרכזיות שקיימות היום במשרדי הממשלה השונים, וכן להנחות את המשרדים השונים באשר לבעלי המידע עבור כל ישות, כך שעדכון כל ישות מידע ייעשה במקום אחד בלבד בממשלה על ידי ממשקים מקוונים).

בנוסף, ה-CDO יפעלו להסדרת אסטרטגיית המידע המשרדית הנגזרת מאסטרטגיית המידע הממשלתית, כך שנושא ניהול הנתונים ובניית מערכי נתונים איכותיים לשימוש ע"י היישומים המתקדמים, ימצא מענה כבר בשלב עיצוב המערכות. תהליך זה, יוביל לארגון המידע הממשלתי בצורה אחידה, אשר יאפשר את מיצוי המידע לצרכים השונים.

על מנת לאפשר למערכות בינה מלאכותית ומערכות לומדות למקסם את יכולותיהן ולפעול בצורה מיטבית, הן נדרשות ליכולות עיבוד עתירות משאבים אשר ניתנות בצורה טבעית בסביבות 'ענן' (שיקולי עלויות שימוש ואחסון). האמור כולל יכולות עיבוד הניתנות להרחבה (scalable) עם נגישות למידע נרחב ואפליקציות ייעודיות לעיבוד.

הרצת מערכות כאלו בתצורת מחשוב 'ענן', תגביר את נגישות המידע ואת יכולת הרצת התהליכים עתירי העיבוד ע"פ דרישה בעלויות סבירות וללא צורך בהשקעות בתשתיות ובאפליקציות.

הקמת מערכות שכאלו בסביבת-העבודה הממשלתית אינה אפשרית, מכיוון שהמשאבים שידרשו לצורך הקמת תשתיות הדומות לאלו הפועלות בתצורת תשתית 'ענן', הינם רבים ומורכבים והיכולת לתחזק מערך תשתיות שכזה, תלויה במיומנויות מקצועיות גבוהות, אשר אינן קיימות בממשלה, אלא בחברות מתמחות ייעודיות לנושא.

יתר על כן מעבר לעבודה ב'ענן', יקל מאוד על הארגון ועל הסטנדרטיזציה של המידע הממשלתי, הנמצא כיום (כפי שהוזכר קודם), באופן מבוזר בין המשרדים בתצורות שונות ויוביל למיצוי המידע לצרכים השונים.

בכדי להבטיח שהמידע הממשלתי ישמר בצורה מאובטחת, נוחה לשימוש וללא חשש למעבר למדינות זרות בהתאם לדרישות חוק הגנת הפרטיות, **יש לפעול להמשך הקמת ענן ציבורי, באמצעות עידוד חברות מובילות בעולם בתחום להקים אזור מקומי, בגבולות מדינת-ישראל, אשר יפעל תחת מגבלות חוק הגנת הפרטיות והרגולציה הממשלתית ויבטיח את הישארות המידע (Residency Data) בגבולות מדינת ישראל.**

הצוות ממליץ להקים ולשלב צוות ייעודי לנושא בינה מלאכותית במגזר הציבורי במסגרת 'מערך הדיגיטל הלאומי', אשר על הקמתו החליטה הממשלה זה מכבר (כאיחוד של יחידות התקשוב הממשלתי וישראל דיגיטלית), שיוקם במשרד רו"מ (או במשרד אחר), שתהיה לו האחריות והסמכות לאכוון ולהנחות את כלל הגופים הממשלתיים הנדרשים לממש יישומי בינה מלאכותית. בנוסף, ממליץ הצוות לעדכן את התכנית הדיגיטלית הלאומית שאושרה בהחלטת ממשלה 2733 ביוני 2017, כך שתכלול את תחום מדע הנתונים והמערכות התבוניות ולהביאה לאישור הממשלה. ללא צוות ייעודי שכזה, יידרש תאום אין-סופי בין גופים רבים בממשלה, דבר שיעכב מאוד את יכולות הביצוע. גוף זה יפעל להקמה של הענן הציבורי המקומי וליישום כלל טכנולוגיות הבינה המלאכותית בזירה הממשלתית.

בנוסף, יש לייצר הדרכה והטמעה בקרב מעצבי המדיניות בדרגים השונים על מנת שיכירו את הכלים והיכולות השונות הקיימות היום תוך פיתוח אוריינות לתחום ה-Data. כל זאת, כחלק מאסטרטגיית הון אנושי דיגיטלי שגובשה לממשלה.

כל משרד/ארגון יקבל אחריות לחשיפה סטנדרטית של המידע אותו הוא מחזיק. הסטנדרטים צריכים להיות תואמים לסטנדרטיזציה בין לאומית (ISO, HL7), כאשר צוות ה-CDO הממשלתי (כחלק ממערך הדיגיטל), יהיה אמון על בקרה ויישום התהליך.

תוגדר מדיניות אחידה לניהול תהליכים מבוזרים (למשל באמצעות DLT) בין גופי הממשלה שתאפשר לייצר אמת כלל ממשלתית אחת שקופה ומנוהלת אשר אוכפת את שלמות המידע ויישום הנהלים בין כלל המערכות.

בנוסף תקודם התאמה של הרגולציה הממשלתית, החקיקה הרלוונטית וכל המהלכים הקשורים להתאמה לעידן הדיגיטלי, כך שיתאפשרו העברות מידע בין המשרדים לצרכי ניתוח מחקר/מדיניות על בסיס המידע אשר אינו חושף את פרטי האזרח ובחינת המשך הצורך בקבלת אישור בוועדה להעברת מידע.

הערכה ראשונית של סל כלים טכנולוגי תשתית נדרש:

- **בניית מערכות לאומיות** - אלו נדרשות במקומות בהם יש צורך בתשתית לאומית ו/או פרוייקט-עוגן לאומי, דוגמת מערכת ממשלתית למחקרי Big Data (בשלב תכנון), 'התממה לאומית', מנוע ליצירת דאטה-סינתטי, שדירת מידע, API פתוח למידע (שיכול בהמשך להפוך ל-API פתוח עבור כלל המידע האישי) וכדומה. אלו פרוייקטים המהווים קפיצת-מדרגה לאומית, כאשר הגישה המובילה הינה פתיחות לריבוי ספקים, ריבוי גופים ומשרדי ממשלה היכולים להתחבר למערכות הרוחביות ולספק שירות איכותי ביותר לכל דורש.
- **כלים ומערכות חנימיים לתועלת הציבור** - נדרשת השקעה חד-פעמית בכלים שיוכלו לשרת את הציבור כולו, דוגמת: מנועי תרגום אוטומטיים ('קורפוס שפה' דיבור בעברית ובערבית, מנוע תרגום אוטומטי מעברית לערבית), תרגום והתאמה תרבותית של מנועי AI גלובליים (כהתאמה לשפה העברית) ומגוון אפליקציות העושות שימוש ביישומי בינה מלאכותית לתועלת הציבור.
- **יצירת סט כלים חדשניים ואטרקטיביים** - עם API פתוח ע"מ שגופי ומשרדי הממשלה יוכלו, עפ"י בחירתם, לממש לצרכיהם.

תיעודף ראשוני של גופי ומשרדי ממשלה לתחילת פיתוח ומימוש יישומי AI:

- משרד הבריאות,
- הביטוח הלאומי,
- רשות המיסים,
- משרד המשפטים,
- משרד החינוך.

הערה: הנימוק המרכזי- משרדים אלו התקדמו בחשיבה וביישום של תיוג בסיסי-הנתונים, למצב התחלתי ראשוני של 'לימוד מכונה' וככל הנראה עם קיומה של בחינה מעמיקה יענו בציון גבוה על מודל התעדוף שמוצע ע"י הצוות.

היערכות הארגונית בממשלה להטמעת יישומי AI

לאור המורכבות הרבה להיבטי המו"פ ולהטמעה במגזר הציבורי, מוצע כי יוקם מנוע ארגוני מרכזי לחילול הפעילות בתוך הממשלה, תוך קבלת האחריות להובלת הטיפול בממשלה **פנימה**, תוך הסתייעות באפיקי מאמץ לאומיים נוספים קיימים וחדשים (היה ויוקמו).

בהקשר זה, האחריות על ההתפתחות וההטמעה של יישומי AI במסגרת הממשלה, מהווה חלק ממכלול לאומי שלא נדון בנייר זה.

עקרונות להתארגנות הפנים-ממשלתית:

1. בהמשך לתוכניות ממשלתיות קיימות לשנת-העבודה הקרובה, תוקם יחידת-סמך במשרד רו"מ (או במשרד אחר עליו יוחלט) בשם **'מערך הדיגיטל הלאומי'** אשר יעודה יהיה קידום תחומי הדיגיטל במגזר הציבורי, והיא תהא אמונה, בנוסף לשאר מטרותיה, גם על קידומן, פיתוחן והטמעתן של מערכות נבונות במגזר הציבורי.
2. יחידה זו תקבל לתוכה את איחוד היחידות 'ישראל דיגיטלית' ו'התקשוב הממשלתי', אשר על איחודן החליטה זה מכבר הממשלה כך שיושלם עד שנת 2020.
3. 'מערך הדיגיטל הלאומי', ידאג להוביל הקמתה של וועדת-היגוי שתורכב ממנכ"לי המשרדים הממשלתיים הר" לוונטיים, לטובת חיזוק שיתוף הפעולה בין המערך לבין המשרדים ולטובת מעקב אחר התקדמותו.

מרכיבים חיוניים להצלחת ההתארגנות:

1. תקודם החלטת ממשלה המנחה על הקמת 'מערך הדיגיטל הלאומי', על כלל חלקיו, לרבות יישומי בינה מלאכותית למגזר הציבורי.
2. החלטת הממשלה לעיל, תכלול את הקווים המנחים אשר לאורם יעבוד 'מערך הדיגיטל הלאומי', לרבות יישומי הבינה המלאכותית.
3. המערך יעבוד גם במתודה של שיתופי-פעולה עם הגופים הרלוונטיים לעבודה מול המשק והאקדמיה (כגון רשות החדשנות וות"ת).
4. במסגרת החלטת הממשלה יוחלט על כלים מנהלתיים לגיוס ולשימור עובדים, אשר יתרמו ליכולות המערך, כך שיותאמו גם למשימתו החדשנית והדינאמית לעיל.

ריכוז ההמלצות

היערכות ואבני-בניין תשתיתיות לרוחב גופי ומשרדי הממשלה

1) **הקמת מוקד הידע והתוכן המקצועי ליישומי AI, כגוף מנחה, מפתח ומטמיע לכלל המגזר הציבורי-** המלצת הצוות היא להקים מוקד זה כחלק מ'מערך הדיגיטל הלאומי' ולהקנות לידיו את כלל האחריות והסמכות להובלה הפנימי-ממשלתית המערכתית. צוות זה יהיה מורכב מאנשי מדע, מחקר והטמעה ובעל ניסיון רב בתחום הטכנולוגיות המתקדמות של יישומי בינה מלאכותית וישמש כ'מצפן' המקצועי הממשלתי לנושא.

2) **גיבוש מדיניות ותפיסת-הפעלה אופרטיבית כוללת, כקווים מנחים מחייבים, בכלל זה, מימוש מטריצת קרי-טריונים לקבלת החלטות לתעדוף היישום הרוחבי-**

מוקד הידע והתוכן המתואר לעיל, יהא אחראי לגבש ולעצב מתודולוגיית עבודה כקווים מנחים של תפיסת-הפעלה, הנגזרים מהתפיסה הלאומית והתאמתם להיבטים הממשלתיים השונים (שאינם קשורים להיבטי מדע/מחקר באקדמיה, תעשייה, המשק וכדומה).

בכדי לממש הפעילות הביצועית באופן אגילי והדרגתי ומתוך הבנה שלא ניתן לממש הפעילות על כל גופי ומשרדי הממשלה במרוכז, הצוות הייעודי יידרש לגבש (כחלק מאסטרטגיית הפעילות), תפיסת-הפעלה שתסייע לו לבחור היכן להתמקד וכיצד לתעדף. המלצת הצוות הינה לבחון תפיסה הנשענת על מטריצת תעדוף של המשרדים מבחינת היערכות ויישום של יישומי AI. המשרדים שאליהם יופנו המשאבים, הקשב והיכולות יתועדפו עפ"י המוצע כדלקמן.

שני קריטריונים לבחינת התעדוף:

- א. קריטריון ארגוני: יבחן האם המשרד בעל בשלות ארגונית להטמעת המערכות והאם המשרד מוטה דאטה בפעילותו.
- ב. קריטריון אימפקט/השפעה: יבחן האם בפעילות המשרד יש פוטנציאל התייעלות משמעותי (ואי לכך צמיחה כלכלית), האם בפעילות המשרד יש פוטנציאל משמעותי לשיפור שירות לאזרח, והאם המשרד עשוי לחולל כרויקט עוגן משמעותי.

בהתאם לכך, מטריצת התעדוף המומלצת היא:

תעדוף המשרד	קריטריון ארגוני	קריטריון השפעה
1	+	+
2	-	+
3	+	-
4	-	-

בנוסף, יש לתעדף פעילות רב מערכתית שמשלבת אשכול משרדים ועשויה לחולל שינוי מצרפי.

3) גיבוש אסטרטגיית ה-DATA הממשלתית-

על רשות התקשוב הממשלתית וישראל דיגיטלית בתיאום עם הנהלות גופי ומשרדי הממשלה וגורמים משפטיים ובי-טחוניים ממשלתיים- לגבש את **תפיסת ניהול המידע הממשלתי בראייה רוחבית כוללת**. ללא גיבוש אסטרטגיה ברורה בכל משרד/ארגון ממשלתי, לא ניתן יהיה לקדם כלל את פיתוח ו/או הטמעה של יישומי ומערכות תבוניות בראייה רוחבית כוללת.

4) רגולציה ממשלתית- פיתוח והתאמה-

יש להתאים את הרגולציה שתענה מחד על הצרכים המערכתיים ומאידך על הצורך של כל משרד וארגון ממשלתי. ללא רגולציה שכזו (היבטים משפטיים, פרטיות, תפעול, גורמי בקרה ואישורים), לא ניתן יהיה לשתף מידע וידע בין גופים, שהינו הכרחי ללמידת מכונה ממאגרי מידע רלוונטיים (מידע שאינו סינטטי). בנוסף, רגולציה זו הינה הכרחית בכל הקשור לנושא היבטי הפרטיות והסודיות של אחסון המידע בשירותים הטכנולוגיים לסוגיהם: דוגמת חוות שרתים ייעודיים, 'ענן פרטי', 'ענן ציבורי' וכו'.

5) הון אנושי- אסטרטגיית הון אנושי דאטה לממשלה-

מטה ישראל דיגיטלית, בשיתוף נציבות שרות המדינה, אגף התקציבים, הממונה על השכר, מנהל הרכש ורשות התקשוב הממשלתית, הוביל בשנה האחרונה תכנית אסטרטגית להון אנושי דיגיטלי בממשלה, לרבות אנשי דאטה. על הצוות להרחיב את התכנית ע"מ שתיתן מענה מיטבי למיזם ולבחון, בין היתר, מסלולי גיוס חדשים, בדומה למסגרת ופעילות גופי ההיי-טק, החל מחוזים אישיים מתגמלים למצב השוק ובהתאם לכישורים הנדרשים לאנשי מקצוע בתחום הבינה המלאכותית, תכניות התפתחות מקצועיות במגזר הממשלתי, הקצאות לתוכניות מחקר והלימוד האקדמי וכן תקנים ייעודיים לקליטת הון אנושי איכותי ומנוסה מהתעשייה, שיוכלו להוות מוקדי ידע ותוכן מתפתחים ו'כר' רחב לקליטת אנשים זהים נוספים ולא-דווקא בצורת מיקור-חוץ של רכישת ידע כפי שקיים כיום (האמור יהיה לגבי הגדרה של תפי-קידים מרכזיים בלבד).

כחלק מאסטרטגיית ההון האנושי הדיגיטלי, על מטה ישראל דיגיטלית ורשות התקשוב לספק הדרכות, הכשרות, סד-נאות, לכל עובדי המגזר הציבורי. יש לבחון הרחבה, התאמה וגיבוש מסלולי הדרכה והכשרות פנימיות וחינוכיות לתחום יישומי מערכות תבוניות בכללותו לבעלי מקצועות ממשפחת ה-IT להסבה מקצועית, שהינם הכרחיים לטובת העשרת ופיתוח הנכסים האנושים המקצועיים הקיימים.

6) הקמת תשתית מחשוב ענן ציבורי שיפעל מגבולות המדינה-

יש לפעול להקמת ענן ציבורי (חלק מעידוד חברות גלובליות מובילות בתחום להקים אזור מקומי), בגבולות מדינת-ישראל אשר יפעל תחת מגבולות חוק הגנת הפרטיות והרגולציה הממשלתית ויבטיח את הישארות המידע בגבולות מדינת-ישראל.

7) הגדרה, פיתוח והטמעת 'ארגז-כלים' טכנולוגי מערכתי עפ"י תיעודף-

יש לגבש את כל הקשור ב'סל' האמצעים הטכנולוגיים שישמשו לעיבוד, אחסון והעברתו של מידע ממשלתי, הן בנפחים העצומים המדוברים והן לגבי יכולות ואמצעי הלמידה והניתוח המהירים הנדרשים. אמנם אין מדובר ב'מחשבי-על', אך נדרשות יכולות עיבוד, ניתוח ואחסון מהירות ועדכניות מאוד לשוק החומרה-תוכנה העתידי (במידה ויוקם 'ענן' כאמור לעיל, יכולות העיבוד אינן נדרשות).

חלק ממשרדי וארגוני הממשלה ידרשו בנוסף ליכולות המחקר, יכולות טכנולוגיות לקליטה והטמעה של היישומים. החלק המחקרי דורש הגדרה של כלי-תוכנה לפיתוח 'למידת מכונה עמוקה' ולעיתים יכולות מעבדתיות שישמשו כחוות מחקר מערכתית.

בנושא זה, יש לבצע כבר בעת הקרובה, שינויים בתכנית-העבודה התקשובית הממשלתית ל-5 השנים הקרובות, הגדרת הכלים, היערכות תקציבית וכ"א מקצועי.

8 היבטים ארגונים, אתיים ונורמטיביים-

הממשלה ומוסדותיה נועדו לקדם את האינטרס הציבורי ולספק שירותים לציבור האזרחים – ביטחון, סדר ציבורי, שירותי רווחה, שירותים בתחום האסדרה, ומגוון רחב של פעילויות נוספות.

לצד הפוטנציאל הרב שיש ב-AI לביצוע אפקטיבי יותר של הייעודים הציבוריים, יש חשש שבעת העברת פעילות מסוימת למעגל החלטה שלם של AI, עלולות להיות תופעות לוואי הנובעות מהמעבר בין קבלת החלטות אנושיות לממוכנת, ובהן אפליה לא מתוכננת, תוצאות שאינן הוגנות חברתית, או פגיעה אחרת בזכויות האזרחים.

בהתאם לכך, יש לקדם לצד ההיבטים הארגונים התשתיתיים והטכנולוגים מסגרת נורמטיבית שתאפשר לממש את הפוטנציאל מבלי לסכן באופן לא סביר את ערכי היסוד של הממשלה במדינה דמוקרטית. הצוות לא עסק בהיבטים הנורמטיביים הכלליים של AI, שנדונו בצוות אחר. אולם נראה כי נכון כי לצד ההיערכות הארגונית והטכנולוגית, תהיה היערכות נורמטיבית, שבה למשל בטרם העברת מלוא הפעילות בשדה מסוים ל-AI, תתקיים תקופת ניסוי, בחינה וכיול המערכות.

9 פיתוח והפעלת מנגנון הדרכה ומודעות בקרב מנהלים ומשתמשים-

חשיבות עליונה קיימת לפיתוח מערכי הדרכה חדשים הייעודיים ליישומי בינה מלאכותית, שיהיו מותאמים לאפליקציות והמערכות הטכנולוגיות העתידיות. אלו נדרשים להיבנות הן למשתמשים, הן למשתמשי-על והן לקרב הדרכת המנהלים בדרגים השונים. יש לזכור כי מדובר ב'מהפכה' של שפה וחשיבה, והמשתמשים ידרשו להכלה אחרת של למידת השימוש וההטמעה. נכון יהיה ללמוד מהתעשייה וחברות ההיי-טק לנושא, העושים שימוש כיום במערכי למידה שכאלו.

10 פיתוח הפעלת מנגנון מעקב ובקרה, הערכה ומדידה איכותי למימוש מקצועי ונכון-

בדומה לכל פעילות ופרוייקטים טכנולוגיים מורכבים במיוחד, יש לפתח מנגנון מעקב ובקרה איכותי, העושה שימוש בטווחי-זמן שונים לכל יישום ופעילות. מדובר בפעולות שעשויות לדרוש גם היבטים של למידת מעבדה, החזרה למסלול פיתוח ו'למידת מכונה' חוזרת, עם בקורות סטטיסטיות השונות מהמקובל כיום בעולם פיתוח הפרוייקטים ממשפחת ה-IT.

11 הערכה ראשונית ל'סל תקציב' מערכתי ליישומי AI ל-3 השנים הראשונות לפעילויות ליבה ראשוניות ב-5 משרדי ממשלה והנחת תשתית טכנולוגית ו'הון אנושי' ראשוניים-

תשתיות טכנולוגיות (כלי תוכנה/חומרה/תקשורת)- 25 מש"ח לשנה,

'הון אנושי' 25 מש"ח לשנה,

10 תקני כוח אדם למשרדי ממשלה

10 תקנים לצוות ידע/תוכן מקצועי חדש במערך

מיקור-חוץ- כ"א מקצועי עפ"י דרישה

הכשרות/הדרכות כ"א

פרוייקטים מרכזיים/פעילויות תשתיתיות- 25-50 מש"ח לשנה,

5 גופי/משרדי ממשלה

- סה"כ: כ- **75-100 ש"ח לשנה**.

דגשים והערות לעיל:

- האמור אינו כולל עלות ענן ממשלתי לאומי ויש לבחון זאת בנפרד.

- האמור כולל עלויות אחסון ושימושי 'ענן' לפרוייקטים המרכזיים לעיל.

היערכויות ואבני-בניין פנים-משרדיות:

1) גיבוש תפיסת-הפעלה ות"ע בכל משרד וגוף ממשלתי, כנגזרת מהמדיניות הממשלתית המערכתית-

כל גוף ומשרד ממשלתי, יגזור מתודולוגיה, לצד, ת"ע פרטנית הרלוונטית למשרדו, כאשר היא אינה חורגת מהקווים המנחים המערכתיים. תפיסת-הפעלה זו תשקף את כל 'שרשרת האספקה' התהליכית ואת כל גורמי המו"פ, הטמעה ושימוש ביישומי הבניה המלאכותית.

2) מיפוי וקליטת בעלי-תפקידים חיוניים ורלוונטיים במשרדי ממשלה נבחרים-

יש להיערך לבחינת פערים ובהתאם לקליטת כ"א מקצועי (בין אם כגיוס עובדי מדינה ובין אם ירכשו כמיקור-חוץ) לתחומים מקצועיים חדשים (רובם ככולם), כדלקמן. יודגש, כי בחינת הפערים תעשה בהתאם לבשלות המשרד ובהתאם יומלץ על רמת המומחיות הנדרשת:

- חוקר-מדען נתונים (data scientist) ברמת phd ובוגרי תואר שני, למחקרי מידע מורכבים בתחומים המדעים של 'למידת מכונה', למידת מכונה עמוקה, הבנה סטטיסטית ותהליכי חיזוי
- מהנדס מידע (data engineer), ליישום מודלים ואנליטיקות ויכולות תכנות תשתיתיות
- אנליסט מידע (data analyst), להנגשת המידע ממאגרי-ענק כמענה לשאלות
- מתייג מידע- אחריות על תיוג הנתונים הגולמיים בכדי לאפשר הרצת מודלי בינה מלאכותית ללמידה מתקדמת
- מומחי DATA SETS- לגיבוש והטמעת אסטרטגיית ניהול המידע
- ארכיטקט מערכת (system architect)
- מהנדס devops
- מומחה hci- human computer interaction
- מהנדס ראייה ממוחשבת
- מהנדס שפה טבעית
- מהנדסי פיתוח- מומחים לאלגוריתמיקה מתקדמת- למידת מכונה

3) מימוש שת"פ מקצועי רוחבי למול המשרדים וגופי הממשלה והגוף המנחה הממשלתי-

ערך לימודי רב במיוחד, הינו בעצם קיומו של מסגרת/ות שיתופי-פעולה רחבים לכל גוף ומשרד ממשלתי, הן למול הגופים והמשרדים הממשלתיים האחרים ללמידה והפקת לקחים לאיגום משאבים כלכליים, מקצועיים, לימודיים מחד גיסא וקבלת אכוונה מקצועית איכותית שוטפת, מאידך גיסא.

11. דוח צוות המשנה של המיזם הלאומי למערכות נבונות בנושא בריאות ורפואה

בראשות פרופ' גבי ברבש

לימוד המאפיינים של תבונה מלאכותית במערכת הבריאות, נידונו במסגרת סדרה של פגישות סיעור מוחות עם מומחים ומובילי דעה בתחום. להלן, מסוכמות התובנות שעלו במהלך הדיונים:

רקע כללי

לאורך שנים, אך בעיקר בעשור האחרון, הולך וגדל המידע הרפואי הנצבר במערכות הבריאות. בין הגורמים התורמים לצבירת מידע רב, ניתן למנות את מערכות ההדמיה (מצילומי רנטגן פשוטים למערכת CT ו-MRI), תיקי חולים ממוחשבים (EHR) מכשירי מעבדה, גנטיקה ולאחרונה גם מערכות IoT (Internet of things) וחיישנים רפואיים הצוברים מידע עצום, הקרוי Big Data (BD) , בסדרי גודל אדירים, שרק מזערית מהם, מנוצלת כיום לניתוח והסקת מסקנות או תועלות. התובנות האלה עמדו בבסיס המהלך "בריאות דיגיטלית" שהוביל משרד הבריאות ביחד עם "ישראל דיגיטלית" בשנים האחרונות ^[q].

היכולת האנושית ללימוד וניתוח מידע בסדרי גודל כאלה היא מוגבלת מאד ומערכות בינה מלאכותית (Artificial Intelligence AI) ולימוד מכונה (Machine Learning ML), מאפשרות ניתוח ולימוד בסיסי נתונים גדולים. החלטת ממשלה מקבילה ממרץ 2018 פרטה את המטרות של התוכנית הלאומית לבריאות דיגיטלית ^[2] (ראו להלן).

החזקות בישראל:

- א. תשתיות מידע ריכוזיות – שתי (בעיקר) קופות חולים ובתי חולים גדולים
- ב. **זיהוי חד ערכי ייחודי** לישראל (מס' תעודת זהות) של הפרט והמידע הנצבר עליו במערכות הבריאות השונות
- ג. מערכת בריאות מרכזית עם **נגישות גבוהה** לאוכלוסייה קבועה **במעקב מתמשך** (Longitudinal)
- ד. רמת IT גבוהה בארץ במערכת הבריאות
- ה. רמת רופאים ופרסונל רפואי בארץ – מהגבוהות
- ו. ההתפתחות של סטארט אפים בישראל מהירה ביותר
- ז. מדע הסייבר בישראל מתקדם מאד

מטרות אפשרויות לניצול BD:

שיפור תהליכי אבחנה, ניבוי תוצאים קליניים בעקבות טיפול, זיהוי והפקת קבוצות אוכלוסיה (Cohorts) למחקר ולפיתוח רפואה מונעת מותאמת אישית וייעול המערכת תוך צמצום עלויות.

תיאור המצב כיום:

האם בתיה"ח שמשקיעים מאמץ בפיתוח ועיבוד BD – "יבקיעו" עם הישגים ברמה הבינלאומית? קרוב לוודאי שלא.

לדעת המשתתפים בסיעור המוחות, אם לא תהיה כאן **השקעה בסדרי גודל של מאות מיליוני ₪ בפיתוח המשאב הזה** תוך הנעה ודחיפה של שינוי פרדיגמה בנגישות למידע רפואי ובשת"פ – **הקופות ובתי החולים יישארו מחובקים עם הדאטה שלהם, אנחנו נדשדש ויעקפו אותנו בעולם.**

במערכת הבריאות הישראלית, יש כיום אולי עשרה גופים שאפשר לעבוד עימם על BD, שתי קופות וכמה בתי"ח גדולים. הדרך היחידה היא להשקיע **הרבה מאד** כסף בשיתופי פעולה בין גופים אלה **עם מוסדות מחקר**, תוך התנייה ברורה שהמידע הנאגר ונוצר, ישמש את כל המדינה ללא כל מגבלה.

מידע רפואי קליני איננו מספיק - נדרש שינוי פרדיגמה

BD רפואי קליני (המופק מתיקים רפואיים ממוחשבים [EHR]) מסייע בהפקת Cohorts של חולים (קבוצות חולים עם מאפיינים ייחודיים) שעליהם ניתן למקד בצורה יעילה יותר תהליכי אבחון ומניעה של מחלות. BD קליני, מסייע כבר היום בפיתוח מנבאים, Predictors, של מחלות ותוצאים רפואיים וטומן בחובו את הפוטנציאל לייעל מאד את עבודת המערכת הרפואית.

אבל, BD רפואי, המבוסס על מידע קליני בלבד, **לא יביא לפריצות דרך בהבנת הפתוגנזה** (מנגנוני אטיולוגיה וריפוי אפשריים) של מחלות.

כנדי להביא לפריצות דרך טיפוליות, המבוססות על הבנה מעמיקה של תהליכי המחלה, מטרות טיפוליות ואת התגובה לטיפול (כמו למשל ניבוי התגובה לטיפול אימנותרפיה בסרטן) – נדרש שילוב קריטי בין מידע רפואי קליני המופק מהתיק הרפואי ביחד עם דגימות ביולוגיות, כלומר השקת מידע גנטי עם מידע קליני.

תפקיד הממשלה בבניית התשתית למימוש פוטנציאל הבינה המלאכותית במערכת הבריאות בישראל

המדינה צריכה:

- א. לתקצב את גופי הבריאות (בתי החולים הגדולים וקופות החולים) בסכומים משמעותיים כשבתמורה, הארגונים האלה יתחייבו (עם אבני דרך מדידות) לבנות תשתית מידע ולשתף פעולה בייזום מחקרים משותפים עם **הנגשת מידע קליני ודגימות ביולוגיות** (כמו בנקי רקמות או מאגר הביובנק שבונה בימים אלה מכבי) בצורה שתעמוד בכל הכללים לכל מי שהמדינה תגדיר.
- ב. לעודד שיתופי פעולה בין ארגוניים: קופות חולים, מוסדות מחקר ואקדמיה ובתי חולים. חשוב שהממשלה תממן פרוייקטי מחקר מולטי דיסיפלינריים המשלבים שת"פ בין ארגונים שונים וחוקרים מדיסציפלינות שונות. מהלך חשוב כזה מתחולל בימים האלה ממש בשת"פ הות"ת, הקרן הלאומית למדע ונדבנים כמו משפחת קלרמן ויד הנדיב. במסגרת המהלך יחולקו תקציבי מחקר משמעותיים (1-3 מ"ד) למחקרים **קליניים-גנומיים** המבוססים על בסיסי נתונים רפואיים גדולים ושותפות בין מספר מוסדות.

השקעה נדרשת:

לאחר התייעצות נראה לנו שנדרשת השקעה כוללת בסך של כ-350 מיליון ש"ח בכריסה לשלוש שנים. כ-200 מיליון ש"ח, יוקצו לפיתוח תשתיות מידע זמינות אצל גופי הבריאות הגדולים (קופות חולים ובתי חולים), כ-70 מיליון ש"ח לפיתוח תשתית ההון האנושי (ראו להלן). בנוסף, השקעה של כ-80 מיליון ש"ח, גם היא לשלוש שנים (כ-Matching של הממשלה לתרומות של גופים אחרים) לעידוד שת"פים מחקריים המשלבים מידע (רפואי) עם מדע.

שתי בעיות עיקריות בממשק עם הממשלה:

1. **רגולציה ותמיכה חסרה של המערכת הממשלתית בכיתוח התחום** בכדי לקדם יזמות AI, נדרשת Innovative Regulation!! ככלל, הטענה (הלא חדשה) היא שהמערכת הרגולטורית – איננה מתקדמת בקצב תואם להתפתחות הטכנולוגיה. הגישה הרגולטורית בארץ: בראש ובראשונה, איננה ברורה וכאשר היא באה - היא בדרך כלל מחמירה יותר מהמקובל ב-CE וב-FDA.

חוסר הוודאות של יזמים בתחום מול הרגולציה – מקשה מאד על התמודדות עם פיתוח AI בארץ. לדוגמא, אין כללים ברורים למי פונים בארגון הבריאות בכדי לקבל מידע? אחריותו (ומחויבותו) של מי בארגון להחליט על מתן מידע ומה הוא צריך לברר לפני החלטה כזו? מי אחראי להתממת המידע? התייחסות שונה לסוגי מידע שונים ועוד.

כאשר מדובר במערכת רפואית שבאופייה, עובדת אך ורק עפ"י הכללים המוכתבים ע"י הרגולטור – זה מחסום רציני המעכב התפתחות.

בסיעורי המוחות, הועלו מספר בעיות רגולטוריות המעכבות פיתוח יזמות בתחום ה AI:

- א. רגולציה של עבודה עם הענן.
- ב. אין תמיכה בפיתוח ביובנקים – כולל בהפשטת תהליכים לקבלת הסכמה מדעת Informed Consent כמו החתמה על טפסי הסכמה מדעת אלקטרוניים מאלפי חולים במקביל.
- ג. טיפול במידע גנטי – קיים קושי עצום בקבלת אישורים לביצוע מחקרים המערבים חומר גנטי ועדות הלסינקי, בעיקר של המשרד – אינן בנויות להתמודד עם מחקרי BD
- ד. משרד הבריאות (ד"ר בועז לב) הוביל ב-2018, מהלך להגדרת העקרונות והכללים לשימושים משניים במידע רפואי⁽³⁾. בעקבות עבודה זו הוציא מנכ"ל משרד הבריאות מספר חוזרים מקדימים⁽⁴⁾. מהלך זה ממתין בימים אלה ל"תרגומו" לתקנות רגולטוריות שישמשו בסיס לניצול של מאגרי מידע גדולים.
- ה. מובנת הדאגה של הרשויות הרגולטוריות לשמירה על בטחון ופרטיות המידע הרפואי, אולם אין סיבה שהמערכת הרגולטורית בישראל תחמיר מעבר למקובל במערכות בינלאומיות אחרות (ראה להלן). ארבעת הנושאים מצויים כיום בעבודה בין משרדי הממשלה (בעיקר בריאות ומשפטים) בדיונים לא נכחו נציגי המערכת המשפטית (למרות שהוזמנו).
- ו. חברות בינלאומיות עובדות עם הרגולציה האירופאית או האמריקאית. מכיוון שאין בארץ בהירות רגולטורית, חברות בינלאומיות חוששות להשתמש במידע מחשש לתביעות הודיות. גם ארגוני בריאות ישראלים חוששים מחוסר בהירות זה. יתירה מזאת, **רגולציה ישראלית ייחודית, גם אם תנוסח כזו, לא תפתור את ההחברות הישראליות מעמידה ברגולציה האירופאית או האמריקאית ומכיוון שהלקוחות והשוק אליו מכוונות החברות הוא באירופה וארה"ב אין טעם ברגולציה ישראלית ייחודית.**

חייבים להבהיר את הכללים והחוקים בהם ניתן לאמץ סטנדרטים בינלאומיים. **כמעט כל הנוכחים בדיון סוברים שאין מניעה לאמץ את הכללים שאומצו ע"י ה-CE או ה-FDA (HIPA & GDPR). כפי שנעשה בחלק מהמקרים בתחום הציוד הרפואי (אמ"ר).**

2. הרצון של הממשלה להוביל - כוחנות ממשלתית, או "מי עדיף שיוביל פרויקטים לאומיים?"

אחת השאלות העקרוניות ברקע, היא "של מי הידע?"

ראשית, יש לזכור שהחולים הם הבעלים האמיתיים של המידע שלהם הנצבר אצל הגורמים השונים במערכת הבריאות. מסקרים שונים עולה, שהחולים בדרך כלל מסכימים לשיתוף המידע **המותמם** שלהם במסגרת מחקרים שמטרתם טיוב מערכת הבריאות והטיפול הרפואי⁽⁵⁾.

חלק מהדיונים עם גורמי ממשלה יוצאים מנקודת מוצא שהידע שנצבר בבתי החולים, או בקופות החולים, הוא של המדינה וביכולתם לכפות על הגופים הללו שיתוף שלו. מחד גיסא, גופי הבריאות העיקריים והמשמעותיים, מחזיקים מאגרי המידע שלהם אצלם, אבל הם בגרעון תקציבי, כרוני ומושרה מלמעלה, ואין להם משאבים לייצר את התשתית לשיתוף הידע עם לקוחות אפשריים (סטארטאפים, חברות פארמה וציוד רפואי בינלאומיות וכו).

מאידך גיסא, המדינה לא יודעת ולא יכולה (ה-DNA של גופים ממשלתיים) להרים פרויקטים מסוג זה.

במהלך סבב הפיילוטים הראשון של בריאות דיגיטלית, חולקו מענקים ממשלתיים בסך של 35 מיליון ש"ח (וסה"כ 74 מיליון ש"ח) לכ-24 פיילוטים שונים. ההנחה היא שמרבית הפרויקטים שילבו יכולות AI באופן כזה או אחר. התכנית

נמצאת כיום בשלבי ההגשה השנייה שלה, כאשר התכנון של ההגשה השלישית עתיד להתקיים במחצית השניה של 2019. בנוסף, הוענקה בחודשים האחרונים תמיכה ייעודית לארגוני הבריאות לתחום ההפקה וההנגשה של מידע למטרות שימושים משניים, בדגש על מענה של חסם הכ"א הייחודי והתשתיות - כ-39 מיליון ש"ח במענקים ממשלתיים ל-25 ארגוני בריאות (קופות וביה"ח), בתוכניות שהותאמו לארגונים עצמם. עוד חילק המשרד מענקים ייעודיים למחקרי BD בתחום הבריאות במסגרת השימוש בפלטפורמת תמנ"ע.

החלטת הממשלה על הפרויקט הלאומי לבריאות דיגיטלית⁽²⁾ פרטה את המטרות/פרויקטים:

1. מיזם "פסיפס" – מיזם תשתית מידע לאומית למחקרי בריאות בתחום הגנטיקה והמידע הרפואי. שיהווה תשתית לפיתוח פתרונות של רפואה מותאמת אישית וניתוח מעמיק של Big Data. תקודם הקמת תשתית למחקר.
2. יוגדרו מנגנוני הגנה להנגשת מידע באופן אנונימי, תוך שמירה על פרטיות, על ידי אבטחת מידע והרשאות גישה.
3. שיפור הרשומות והמערכות הרפואיות הקיימות היום.
4. הקמת בנק דגימות לצרכי טיפול ומחקר, שישמש את מיזם פסיפס.
5. פיתוח והנגשה של יכולות טכנולוגיות להטמעת פתרונות חדשניים בארגוני הבריאות.
6. פיתוח כלים לתמרוץ ארגוני הבריאות לעידוד שיתופי פעולה עם האקדמיה ועם התעשייה.
7. קידום פרויקטים משותפים בין מערכת הבריאות הישראלית לבין מערכות בריאות בעולם.
8. בחינת הקמת מרכז לאומי לריצוף גנטי ישראל, לצורך מחקר וניתוח הדגימות.

טכנולוגיה ותעשייה

9. הגברת פעילות השיווק והייצוא לחו"ל בתחום פתרונות בריאות דיגיטלית, ועידוד חברות זרות לביצוע השקעות בישראל.
10. השתתפות ישראל בפרויקטים של מוסדות פיננסיים בין-לאומיים בתחום הבריאות הדיגיטלית.
11. עידוד מחקר ופיתוח של חברות וסטארט-אפים בתחום הבריאות הדיגיטלית.
12. הקמת "מעבדות לחדשנות טכנולוגית" לחיזוק שיתופי פעולה בין תאגידים רב לאומיים לבין חברות הזנק ישראליות בתחום הבריאות הדיגיטלית.
13. קידום הסכמי שיתוף פעולה עם גורמים בינלאומיים, לתמיכה במו"פ של חברות ישראליות בתחום הבריאות הדיגיטלית
14. יצירת תכנית הסבת כוח אדם לתחום מדעי הנתונים, תוך התייחסות לתחום הבריאות הדיגיטלית.
15. קידום מחקרים בתחום הבריאות הדיגיטלית הכוללים שיתוף פעולה בין חוקרים לארגוני בריאות.
16. פיתוח קורסים אקדמיים דיגיטליים הרלוונטיים לתחומי ההייטק ומדע הנתונים.

מדובר כנראה ביעדים לטווח הרחוק שאין יכולת וגם לא הייתה כוונה לממשם בתוך שנה. התוצאה היא תסכול הדדי, עיכוב משמעותי, בזבוז משאבים לשני הצדדים והחמצת ההזדמנות.

מהלך ממשלתי עם כפיה מלמעלה – נדון מראש לכישלון.

אין דרך לכפות על קופות החולים (או בתי החולים) שיתופי פעולה מלמעלה. הניסיון שנצבר במסגרת ההסכם של מכון ויצמן ושירותי בריאות כללית מלמד ששיתוף המידע איננו מסתכם בהעברת המידע כמות שהוא אלא מחייב עבודה משותפת והדוקה לנורמליזציה של המידע והבאתו לכלל מכנה משותף. לימוד בסיס הנתונים והטיפול הנדרש בכדי שיהיה זמין לשאילתות – חייב להיעשות תוך שת"פ הדוק בין מערכות המידע של הארגונים (קופות החולים ובתי החולים) וזה לא יכול לקרות אלא אם כן תונח התשתית ההסכמית וייווצר האמון וה**אינטרס ההדדי**.

בין השאר לכן, לדעת כותבי הדו"ח – רצוי שהמדינה לא תוביל פרויקטים לאומיים. הוויכוח עם ספקי הבריאות על מי הבעלים של המידע הנצבר אצלם הוא חסר תועלת ומזיק.

לכן לסיכום פרק זה, **הממשלה איננה צריכה לייצר או לנהל את הנתונים, אלא רק לייצר סביבה רגולטורית וכלכלית (Incentives) שתקבע כללים ברורים המגינים על פרטיות החולים ותאפשר הרשאות וגישה מהירה לנתונים תוך תגמול של מי שמשתף את הנתונים.**

הכשרת כח אדם מתאים

חייבים להכשיר ולבנות מסה קריטית של מומחי BD רפואי

לאורך כל הדיונים, הודגש הצורך בהכשרת כח אדם מתאים, הן, אך לא רק, מבין הצוותות הרפואיים, כבסיס להגברת היכולות ומצוי הפוטנציאל בישראל. בכדי לקדם את המו"פ בתחום בינה מלאכותית במערכת הבריאות בישראל חייבים לבנות מסה קריטית של מומחים וחוקרים בתחום, גם רופאים ומקצועות בריאות אחרים וגם מדעני מידע. אלה יהיו החוקרים שיובילו את המחקר בתחום ויאפשרו ניצול מהיר של המידע המצטבר (בחלקו באופן חסר תקדים בהשוואה לעולם המערבי) – אבל לא פחות חשוב מזה – הם גם אלה שיכשירו את הדור הבא של מומחי המידע הרפואי.

להלן מספר ממצאים המתארים את תחום ההכשרה ל AI בישראל 2020:

- המציאות היא שעדיין אין בארץ התמחות רפואית מוכרת ב-Medical informatics או ב-Data Science. התמחות כזו מוכרת בהרבה מהמוסדות המובילים בארה"ב כבר לפחות 15 שנים.
- קיים פער גדול בתקציבים העומדים לרשות המערכת הציבורית והאקדמית בקליטת חוקרים בתחום הביו אינפורמטיקה:
 - כניסת חוקר לאוניברסיטה – אפילו בארץ, מלווה בתקציב גדול יותר מאשר כניסת חוקר כזה לבתי החולים. תקציב קליטה של חוקר AI באוניברסיטה, מוערך בחצי עד מיליון דולר לשלוש שנים. בבתי החולים או בקופות החולים, אם בכלל, מדובר על עשירית מזה.
 - אגב, ההשקעה הנדרשת בתשתיות מחשוב שיעמדו לחוקרים כאלה, הינה החלק הפחות יקר של ההשקעה הנדרשת.
- זמן מוקדש למחקר (Protected time) לרופאים – למעשה – איננו קיים. אין עידוד או תמיכה במחקר BD.
- במערכת הבריאות הישראלית, אין כיום ביקוש למשרות בתחום הביו אינפורמטיקה.

חייבים ליצור מנגנון Incentives מתמשך במערכת הציבורית, כי כל מי שמסיים הכשרה בתחום, נמשך מיד לתעשייה שמשלמת משכורות גבוהות.

להלן ההמלצות להכשרה בתחום ה-AI של אוכלוסיות מטרה:

א. רופאים ובעלי מקצועות רפואיים

עיתוי ואופי ההכשרה:

1. סטודנטים לרפואה:

חשוב ל"תפוס" את הרופאים כשהם בתחילת הכשרתם, לפני שהם מתחילים להיות עסוקים במשכורת, בית וילדים. עיקר ההשקעה לכן, חייב להתמקד באוכלוסיית הסטודנטים בשלבי הלימוד בביה"ס לרפואה ואצלם, לבצע את ההכשרה בשני רבדים:

- חשיפה** של כלל הסטודנטים לנושאי Big Data, AI ו-ML במסגרת קורסי העשרה בביה"ס לרפואה. יש הטוענים שכחלק מהקוריקולום של לימודי הרפואה (והדבר נהוג למשל בהרווארד) – חייבים כל הסטודנטים ללמוד קורס בסיסי בתכנות.
- הכשרה מעמיקה** במסגרת תוספת זמן לסילבוס הלימודים – **כנראה לפחות כשנה-שנתיים**. ההערכה היא שלהכשרה המעמיקה, מתאימים לא יותר מ-15% מכלל הסטודנטים. כאלה, שהם בוגרי לימודי מערכות מידע ו/או יחידות כמו 8200. (ראו טבלת מקצועות ליבה בנספח מס 1). כהערת אגב, בהחלט ניתן לשלב כאן קורסי לימוד מרחוק.
- בתקופה הזו, הסטודנט לרפואה שבהחלטה להתמקד בלימודי מידע ו-AI, מאריך את לימודיו משבע, לקרוב לעשר שנים, חייב לקבל מלגת שכ"ל + מלגת קיום פטורה ממס של 10-12,000 ₪. כמובן שכניסה למסלול מסובסד כזה – תלווה בהתחייבות רב שנתית לעבודה במערכת הציבורית.

2. רופאים:

הכשרה ייעודית, מכוונת לרופאים **במספר ענפי רפואה** מתקדמים מבחינת היישום של AI ו-ML שהם: **הדמיה, פתולוגיה ורפואת עור ועיניים**. מומלץ לאפשר לרופאים נבחרים (עם רקע מתאים!) במקצועות אלה – השתלמות או לימודים במקצועות הליבה של מערכות מידע ומחשוב.

3. השתלמות רופאים (Post-doc) במרכזים מובילים בחו"ל

קול קורא ובחירה של עשרה רופאים צעירים עם **רקע מתאים במקצועות הליבה ותכונות מנהיגות** - ומימון השתלמות שלהם בחו"ל במוסדות מובילים. קליטה בארץ (גם אם, ואפילו בעוד 6 שנים!) של קבוצת מובילים כזו, תזניק לפסגות את תחום ה AI וה- ML בבריאות בכלל ואת הטיפול במידע רפואי, תוך פרק זמן קצר. **ההשקעה הלא גדולה הזו - תחזיר את עצמה בגדול.**

4. התמחות על ברפואה

בעתיד, ורק לאחר התפתחות מסה קריטית מקצועית מקומית בתחום ה-Medical informatics, יהיה נכון לשקול להכיר בהתמחות על מסודרת בתחום.

ב. בוגרי מקצועות ליבה בתחום מחשבים, סטטיסטיקה

ככדי למשוך ולעניין צעירים עם הכשרה וניסיון בתחומי ליבת המחשוב והמידע, מומלץ לפתוח במסגרות רפואיות: פקולטות לרפואה ובתי החולים הגדולים, בהכשרה ביו-רפואית מסודרת שתיועד לביו-אינפורמטיקאים ואנשי מחשב המעוניינים לנתב את הידע והניסיון שרכשו לתחום AI רפואי.

תחרות עם התעשייה

לנושא זה מספר היבטים. התחרות על מובילים בתחום, ניזונה משני שורשים: פערי השכר ועניין מקצועי:

1. עניין מקצועי:

ראינו מקרים בהם מצטיינים התמודדו עם הצעות שכר גבוה מהתעשיה ובחרו במערכת האקדמית בגלל העניין המקצועי. האחריות ליצר משיכה מקצועית וסביבת עבודה אטרקטיבית היא על המנהיגות במוסדות האקדמיים והציבוריים.

2. שכר:

חייבים למצוא דרך, בשת"פ הממונה על השכר, להגדיר **לתקופת מעבר**, אוכלוסיה **מצומצמת** של מצטיינים ב-AI, שע"בורה תוכל המערכת הציבורית לשלם שכר גבוה יותר בכדי לטפח ולשמר הון אנושי בתחום. (מסגרות העסקה, מתווה שכר, מיקוד האוכלוסיה).

יש להדגיש, כי התעשייה מצד אחד והאקדמיה ומערכת הבריאות מצד שני, אינן אויבות, אלא חייבות ויכולות לשתף פעולה בקידום ה-AI במערכת הבריאות.

1. הכשרה ועבודה של מומחים במקביל בשתי המערכות. היום, שת"פ כזה נכפה בחלק מהמקרים, בכדי לאפשר למומחה ליהנות משכר גבוה יותר שהמערכת הציבורית איננה יודעת לשלם.
2. קידום פרויקטים יישומיים משותפים ובניית תשתיות חומרה ותוכנה שדורשים מימון שהמערכת הציבורית, אקדמית ואחרת – מתקשים לממן.

לסיכום פרק זה, השילוב בין התעשייה והאקדמיה ומערכת הבריאות הציבורית, הינו קריטי כיוון שבתחום ה-AI, כמו בתחומים רבים אחרים, מרבית הרעיונות נולדים ויוולדו באקדמיה והפיתוח שלהם יכול שיקודם באמצעות התעשייה.

ארבעה פרויקטים אפשריים כמנועי צמיחה לאומיים ליישומי AI במערכת הבריאות:

א. חלוקת אשפוז - פיתוח כלים לתיעוד וניתוח מדדי חולה שיאפשרו אשפוז בית

אוכלוסיות חולים רלוונטיות: מחלקות פנימיות, מחלקות שיקום וגריאטריה
מכשול עיקרי: **מחסור בצוות רפואי** לגיבוי טיפול הבית

ב. הקלת העומס בחדרי המיון

פיתוח כלים להערכת ו-Triage חולים במיון

- בכניסה למיון (עיבוד נתוני עבר, תלונה עיקרית ומדדי קבלה)
- מיד לאחר קליטת תוצאות מעבדה

מכשול עיקרי: הפרויקט ייעל את עבודת הצוות הרפואי במיון אבל בסופו של דבר הבעיה העיקרית במיון היא **מחסור בצוות רפואי**

ג. הקלת מצוקת רפואת הקהילה - קידום ביקורי רופא וירטואליים

רפואת הקהילה עומדת בפני משבר עם הפרישה בימים אלה של הרופאים שעלו מברית המועצות ו"הצילו" את הרפואה בישראל.

חייבים למצוא כלים ליעל את הממשקים בין רופא לחולים בקהילה
חלק גדול מן המפגשים – מיותרים וניתן למצוא להם תחליפים או ליעל אותם
כאן נדרשים:

פיתוח כלי מדידה ובדיקה דיגיטליים – כבר מתפתח ברפואת ילדים (TYTO)
פיתוח כלים בדגש על האוכלוסיה המבוגרת דווקא
שילוב מידע רפואי עם מידע דיגיטלי מקוון
מכשול אפשרי: רגולציה – **חייבים רגולציה חדשנית ומגויסת**

ד. הפקת מדדי איכות השוואתיים להערכת תוצאים קליניים

המדדים קיימים וזמינים – נדרש עיבוד שלהם ברמת אמינות גבוהה
מכשול צפוי: התנגדות עזה של הקהילה הרפואית – בחלקה מוצדקת (חוסר היכולת "ללכוד" את כל המשתנים המסבירים תוצאים שונים של רופאים שונים ובתי חולים שונים)

מקורות:

1. בריאות דיגיטלית. משרד הבריאות אפריל 2017
[pdf.DigitalHealthStrategyApril2017/PublicationsFiles/il.gov.health.www://:https](https://www.health.gov.il/PublicationsFiles/DigitalHealthStrategyApril2017.pdf)
2. החלטת ממשלה 25.3.18
[health250318_spoke/news/departments/he/il.gov.www://:https](https://www.health.gov.il/news/departments/he/il.gov.health250318_spoke/)
3. מסקנות הועדה ליישום המלצות השימושים המשניים במידע בריאות ינואר 2018
[pdf.info_health/PublicationsFiles/il.gov](https://www.health.gov.il/PublicationsFiles/info_health.pdf)
4. חוזרי מנכ"ל מס 1/2018 ו 2/2018 מינואר 2018 וחוזר מס': 15/2018 מנובמבר 2018
5. סיכום המלצות "כנס ים המלח" 2016 בנושא הסדרת נתוני בריאות
<http://www.themedical.co.il/Article?aspf=f&s=5&id=3846>

12. דוח מכון וולקני לפרויקט לאומי בנושא בינה מלאכותית בחקלאות

בראשות ד"ר שמואל אסולין

נספח מס' 1 - מקצועות ליבה במדעי המחשב (מסמך הות"ת פברואר 2019)

בסיס מתמטי

חשבון דיפרנציאלי ואינטגרלי

אלגברה לינארית

לוגיקה ותורת הקבוצות

הסתברות וסטטיסטיקה

ליבת מקצועות המחשב:

מבוא

אלגוריתמים ומבני נתונים

תכנות מונחה עצמים

מעבדי תכנות

מבוא להנדסת תוכנה

מדעי הנתונים

הרחבות:

מסדי וקריית נתונים

מערכות מידע

תכנות פונקציונלי

רשתות תקשורת

מערכות הפעלה

ממשקי משתמש

קריפטוגרפיה ואבטחת מידע

בינה מלאכותית

תכנות מונחה בדיקות

פרויקט לאומי ליישום בינה מלאכותית בחקלאות



בהובלת מכון וולקני

מינהל המחקר החקלאי, משרד החקלאות ופיתוח הכפר

רקע כללי

בשנים האחרונות התרחשו שינויים מהותיים בארץ ובעולם. מאז שנת 2000 עלתה תוחלת החיים הממוצעת בעולם ב-5 שנים; בארץ, ב-35 השנים האחרונות עלתה תוחלת החיים בתשע שנים. גם רמת החיים בעולם בעלייה. ברחבי סין לדוגמה היו בשנת 2000, כ-3 מיליון כלי רכב פרטיים; ב-2009 המספר עמד על 38 מיליון; וכיום יש בסין כ-217 מיליון כלי רכב פרטיים. העלייה ברמת החיים מתבטאת גם בשינוי בהרגלי התזונה (צריכת הבשר בסין גדלה פי 6 ב-30 שנה האחרונות) ובנושאים נוספים. העלייה בתוחלת החיים וברמתם מביאים, בהכרח להגדלה של האוכלוסייה. אוכלוסיית העולם גדלה וצפויה להגיע בשנת 2050 לסדר גודל של 9-10 מיליארד תושבים. כדי לשמור על תוחלת החיים ואיכותם צריך יהיה לספק לאוכלוסייה בעולם יותר מזון מגוון ואיכותי, והערכה היא שנדרש להגדיל את כושר ייצור מזון ב-70%.

השינויים המתרחשים מעמידים אותנו בפני אתגרים לא פשוטים. כבר היום, כ-30% עד 40% מהמזון המיוצר בעולם הולך לאיבוד כתוצאה ממציקים, מחלות ועשבים. במקביל, יותר ממיליארד תושבים רעבים ומספר זה צפוי לגדול עם הגידול באוכלוסיית העולם. משאבי המים והקרקע בעולם מוגבלים, רמת ניצולם הולכת וגדלה, ואיכותם מתדרדרת. יש צפי לשינוי אקלים עולמי שיגרום לשינויים במשטרי המים והחום והתוצאה תהיה, ברוב המקרים, לפגיעה ביבולים. כל אלה מחייבים להיערך, ולבצע, שינויים באופי החקלאות המקובלת היום.

כיום מרבית החקלאות בעולם היא אקסטנסיבית ולא בה נעשה שימוש בהשקיה (rain-fed agriculture). היבולים המושגים בחקלאות אינטנסיבית, מושקית (irrigated agriculture), גבוהים פי שלושה ויותר ליחידת שטח. לכן, יש להיערך למעבר הדרגתי לחקלאות אינטנסיבית מתקדמת מבוססת טכנולוגיה ללא תלות בידיים עובדות. בחקלאות אינטנסיבית נעשה שימוש בטכנולוגיות המאפשרות לספק מידע על מגוון רחב של משתנים חיוניים להשגת יבולים גבוהים. כמו למשל, זיהוי ומעקב אחר פגעים (מחלות, מזיקים ועשבים), מחסורים שונים, יעול השימוש במשאבי הקרקע והמים, התאמת ממשקי ההשקיה והדישון לתנאי הסביבה ולגידול, שיפור תנאי האחסון ומניעת אבדן מזון, ועוד. טכנולוגיות אלה מתבססות על מגוון רחב של חיישנים בשיטות ספקטרליות מגוונות, המשתרע מחישה מרחוק באמצעות לווין, מטוסים ורכיבים עד לביו-חיישנים זעירים בתחום הננו. הן מאפשרות לבנות בסיסי נתונים המספקים מידע רב ערך על השינויים בזמן ובמרחב של תגובת מערכות מורכבות (כגון יבולים) למשתני מצב רבים (כגון אקלים, איכות וכמות מים, מזיקים, מחסורים בחומרי הזנה, סוגי קרקע, או טופוגרפיה). ניצול מושכל ויעיל של המערכות מחייב שימוש במודלים בעלי יכולת לימוד עצמית דוגמת מודלים המפותחים בגישת הבינה המלאכותית.

מאז שנקבע המושג בינה מלאכותית (Artificial Intelligence) ב-1956 באנגליה, שיטות המיישמות גישות של עדכון אלגוריתמים תוך כדי חשיפה לנתונים חדשים (Machine Learning) וקבלת החלטות במקרים שבהם אין מידע קודם התפתחו בצורה מואצת וכיום קיים מגוון רחב של כלים הניתנים ליישום במטרה להפיק את מירב התועלת ממידע האגור בבסיסי נתונים גדולים, מצב שלא היה אפשרי לפני מספר שנים. בישראל ישנו ניסיון רב שנים של חקלאות אינטנסיבית מתקדמת מבוססת טכנולוגיה

חדשה במגוון רחב של גידולים בתנאי אקלים, סוגי קרקע, ואיכויות מים שונים. ניסיון זה, והנתונים הרבים שמתחילים להצטבר על הקשר בין שינויים בזמן ובמרחב של משתני מצב אלה ותגובת המערכת הצמחית, מהווה בסיס יקר ערך לפיתוח מערכות של בינה מלאכותית.

אנחנו מציעים פרויקט לאומי ליישום בינה מלאכותית בתחום החקלאות לניצול אופטימאלי של משאבי טבע ותשומות להבטחת ייצור מיטבי של מזון. פרויקט זה ישרת את מדינת ישראל ויאפשר לה להתכונן לקראת האתגרים הצפויים לעמוד בפניה בעתיד הקרוב, ויספק את אחד ממנועי הצמיחה הכלכלית לעשורים הבאים. הוא גם יהווה תרומה לעולם הצפוי לעמוד בפני אתגרים דומים, ויעצים את תדמית ישראל בעולם.

הרצינול לשימוש בבינה מלאכותית בחקלאות

מורכבות המערכת החקלאית

תהליכים של עיבוד חקלאי הינם מורכבים, בעלי שונות רבה, עתירי עבודה ועל פי רוב גם ייחודיים לכל גידול חקלאי. סוגי התהליכים ושלביהם תלויים בגורמים רבים הכוללים את מאפייני הגידול ודרישותיו, המאפיינים הגיאוגרפיים, הגיאומטריים, הגיאולוגים, התנאים האקלימיים והמטאורולוגים, דרישות השוק והעדפות של הצרכנים והאמצעים והיכולות של החקלאי. בגלל כל אלה התהליכים אינם מוגדרים בבהירות, הם כוללים אי-וודאות אינהרנטית המייצרת מצבים בלתי צפויים המשתנים עם הזמן. בנוסף לכל אלה, מדובר בעצמים טבעיים כגון פירות ועלים שיש להם שונות רבה בצורה, מרקם, צבע, ממדים, מיקום ואוריינטציה שעל פי רוב אינה יכולה להיות מוגדרת מראש. השונות הגבוהה המאפיינת את הסביבה החקלאית גורמת לביצועים ירודים ושגיאות בקבלת החלטות של המגדלים.

אלגוריתמים של בינה מלאכותית מותאמים לתרחישים בעלי שונות גבוהה, חוסר ודאות וחוסר מידע ויכולים להוות ייתרון על פני השימוש באלגוריתמים הקונבנציונאליים. שילוב מודלים של בינה מלאכותית יאפשר להתגבר על מורכבות התהליכים הפיזיקאליים, הכימיים, הביוכימיים, והביולוגיים המעורבים, על השפעות הגורמים שביניהם, ולבטא את תגובת המערכת הכוללת בצורה כמותית בהתאם לפונקציות המטרה המוגדרות תוך התחשבות במרבית הגורמים המשפיעים.

מהפיכת המידע בחקלאות

הטכנולוגיה החקלאית עוברת בשנים האחרונות מהפיכה בתחומי איסוף המידע, מדעי הנתונים ו-BIG DATA (נתוני עתק) וכוללת חישה מרחוק ומקרוב בטווח רחב של אורכי גל; חיישנים פיזיקאליים, כימיים וביולוגיים; עיבודי תמונה; ושיטות גאו-פיזיות, שימוש במגוון רחב של חיישנים כגון מצלמות היפרספקטראליות, תרמיות וכדומה אשר חלקם לא היו קיימים לפני מספר שנים. מערכות אלו אוספות מידע רב ברזולוציה גבוהה מאוד. כמו כן מתבצע כיום איחוד מידע בין חיישנים שונים בכדי לזהות תופעות פיסיקליות-כימיות-ביולוגיות בגידולים חקלאיים שונים. חקירת המידע הרב הנאסף מחייבת שימוש בכלי ניתוח ואלגוריתמים מתקדמים.

אחד הכלים המותאמים לכך היא הבינה המלאכותית אשר יכולה לאחר אימון לתת תוצאות מדויקות בזמן קצר יחסית גם במידע חדש. כלי הבינה המלאכותית יכולים בעילות רבה יחסית לאחד מידע ממקורות שונים ולמצוא את הקשרים המתמטיים לתיאור התופעות הנחקרות.

יתרונות השימוש בבינה מלאכותית בחקלאות

כלי בינה מלאכותית הנמצאים בשימוש היום מצריכים מערכי אימון (training sets) וניסוי (testing sets) גדולים מאוד וזמן אימון יחסית ארוך. מדדים אלו אף מחמירים כאשר השונות, הדינמיות, אי הודאות וחוסר המידע גבוהים מאוד כפי שקיים בחקלאות. פיתוח והתאמה של כלי בינה מלאכותית לתחום החקלאי הינו אתגר בעל חשיבות גבוהה המצריך פיתוח ארכיטקטורות חדשות, לדוגמא: מופע תקין של שתיל ממצב הזרע ועד מצב של מתן פרות הוא מורכב, בניגוד לבעיית הקלסיפיקציה הקלאסית בה המיון נעשה במצב התפתחותי נתון (כמו למשל, בין מכוניות מסוגים שונים), בשימוש חקלאי מערכות בינה מלאכותית יצטרכו לקשור ולחלץ מגמות התפתחויות על בסיס מדידות שנעשו במצבים התפתחותיים שונים. האתגר הגלום בכך גדל לאור העובדה כי תנאי המדידה עצמם אינם קבועים. בדוגמא אחרת, אחד היעדים החשובים בחקלאות המודרנית הוא ניטור מחלות, השדה זרוע בצפיפות והמחלות מתפשטות במהירות ועלולות להגיע לשלב האפידמיולוגי בלתי הפיך תוך שבועות בודדים. התפשטות

המחלה תלויה בגורמים רבים שאותם חשוב מאוד לאפיין לצורך בלימתה בזמן. המידע הרלוונטי נע החל מרמת האילוח ברמת הרקמה של הצמח הבודד, סימפטומים בספקטרום ההחזר של העלווה וכלה באנומליות בצימוח המתפרשות על פני דונמים רבים ברמת השדה. שילוב מידע כנ"ל מחייב היתוך אינפורמציה ממשטח ביולוגי, מדידות ספקטרוסקופיות ועד גיחות כטב"מים ולעיתים לוויינות.

מחקרים בתחום הבינה המלאכותית במנהל המחקר החקלאי

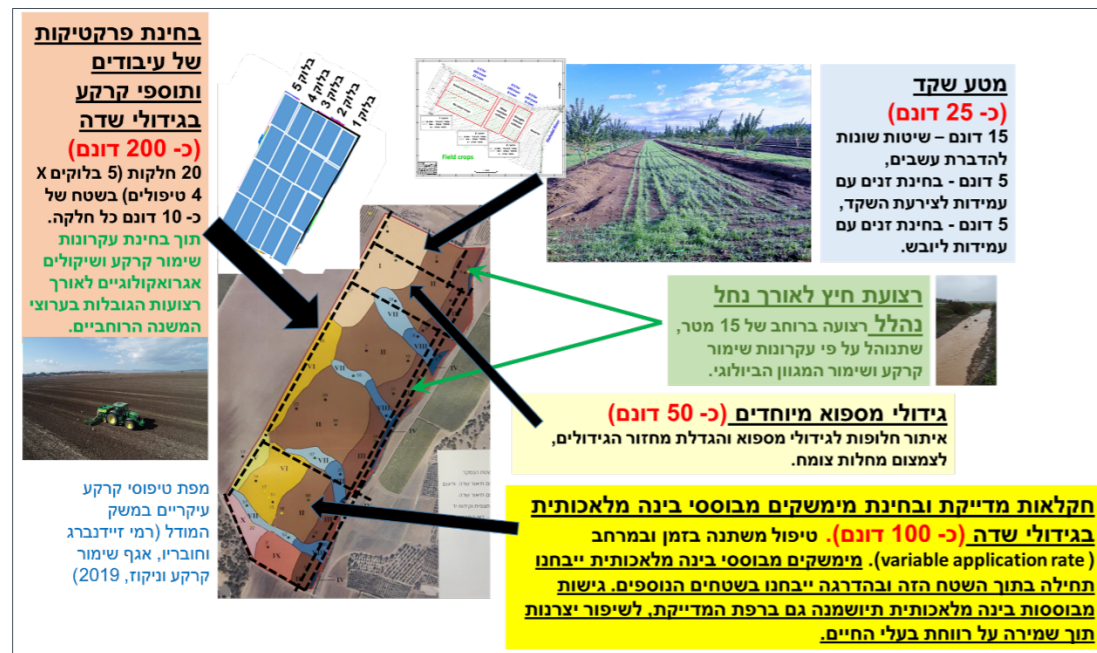
למנהל המחקר החקלאי – מכון וולקני, על ששת המכונים שלו ושני מרכזי המחקר בצפון ובדרום, ניסיון מצטבר וידע רב בתחום איסוף הנתונים ושילובם במערכות קבלת החלטות. זאת, בתחום רחב של גידולים, בהיבטים מגוונים כגון פיזיולוגיה של הצמח, השקיה ודישון, הגנת הצומח, טיפול אחרי הקטיף, והנדסה חקלאית. במכון גם מתבצעים פרויקטים מערכתיים ורב-תחומיים המשלבים חוקרים מדיסציפלינות שונות ומשלימות.

מכון וולקני הינו המוסד אשר יוכל להביא לפריצות דרך עולמיות בתחום הבינה המלאכותית בחקלאות. במכון וולקני נמצאים מומחים ברמה עולמית בתחום מחלות הצמחים, מזיקים ועשבים ובתחומי ההנדסה השונים ההכרחיים למחקרים בתחום זה. למכון וולקני ניסיון של עשרות שנים בשיתופי פעולה מחקריים אקדמיים ועיסקיים עם מומחים מתחומים שונים ובביצוע מחקרים בינתחומיים. בשנים האחרונות מתבצעים במנהל המחקר החקלאי מחקרים בתחום הבינה המלאכותית. בין היתר מחקרים אלה מתמקדים בפיתוח אלגוריתמים להערכת יבול, זיהוי פגעים באפרסמונים וגיל פיסיולוגי באבוקדו, שיפור רזולוציה בחישה מרחוק, זיהוי פנוטיפים בפירות, זיהוי רמות אילוח במים, ניטור אנומליות בשדה, ניטור של רמות האבסה ופעילות בבעלי חיים, ניטור של מגמות צימוח ביערות, מיפוי עשבים ועוד.

פיתוח מערכת בינה מלאכותית לזיהוי מוקדם של פגעים (מזיקים, מחלות ועשבים) בגידולים חקלאיים הינה משימה לאומית בעלת חשיבות עליונה. הבעיה מורכבת מאחר ולכל צירוף של צמח – פגע יש מופע שונה שמחייב מחקר ייחודי. בנוסף על כך משתני אקלים, תכונות קרקע, זמינות ואיכות מים, מיקום גיאוגרפי, גיל הצמח וגורמים נוספים משפיעים על המערכת הביולוגית והופכים אותה למורכבת ומסובכת.

פיתוח כלים ומערכות בינה מלאכותית המותאמים לסביבה החקלאית לאיתור מוקדם של פגעים ולזיהוי הגורם הפתוגני יאפשר התמודדות עם כל הפגעים בגידולים חקלאיים ולא פיתרון בודד לפגע מסוים בגידול חקלאי בודד. המאפיינים של אלגוריתמים לבינה מלאכותית מותאמים לזיהוי שלל הפגעים התוקפים את הגידולים החקלאיים. פרויקטים בנושאים אלו הינם רב תחומיים באופיים וישולבו בהם מומחים בתחום הבינה המלאכותית, הנדסה חקלאית, הגנת הצומח, מדעי הקרקע והמים, ומדעי הצמח. הפיתוחים יתבססו על מידע רב שנצבר בתחומים השונים הקשורים לרצף קרקע-מים-צמח-אטמוספירה; פיזיולוגיה של הצמח; הגנת הצומח; וטיפול לאחר הקטיף.

תוצרי המחקרים יאפשרו לזהות פגעים בשלב מוקדם בצורה מדויקת וברזולוציה מרחבית גבוהה ויביאו להקטנה של אובדן מזון ופגיעה באיכותו, יאפשרו להפחית את השימוש בחומרי הדברה רעילים, יקטינו את השימוש בידיים עובדות וימצערו את הפגיעה בסביבה. הפיתוחים גם ישמרו על מקומם של החקלאות הישראלית והמחקר החקלאי בחזית המדע בעולם.



משק המודל לחקלאות בת קיימא שהוקם במרכז מחקר נווה יער, מכון וולקני (<https://modelfarm-aro.org/>)



משק מודל לחקלאות בת-קיימא במרכז מחקר נווה יער, הקמפוס הצפוני של מכון וולקני צוואר הבקבוק בתהליך ההטמעה בפועל של פיתוחים בתחומי מדע שונים, הוא הפער בין מחקר למעשה (Research-Practice Gap). התופעה אינה פוסחת על המחקר החקלאי. לעיתים, אולי באופן מעט פרדוקסאלי, הפער בולט במיוחד ככל שגובר השילוב של טכנולוגיות מתקדמות מתחומי החקלאות המדייקת והבינה המלאכותית. גם כאשר היכולות קיימות לכאורה, ה"קילומטר האחרון" המפריד בין המוצר המוגמר לבין היישום שלו בפועל, לא אחת דוחק הצידה את הפוטנציאל הגלום באותו מוצר.

לשם כך, ב-2018 הוקם במרכז מחקר נווה יער, הקמפוס הצפוני של מכון וולקני, **משק מודל לחקלאות בת קיימא**. המשק הוקם על תשתית כוללת של כ-1200 דונם לגידולי שדה ומטעים ורפת בקר פעילה עם כ-200 ראשים. מטרתו המוצהרת של משק המודל הוא לימוד, הדגמה והטמעה של עקרונות חקלאות בת קיימא, ובכך להוות גשר בין המחקר למעשה החקלאי. זהו פרויקט חלוצי בישראל וייחודי גם בקנה מידה בינלאומי.

מיזם זה, שהקמתו התאפשרה בזכות תרומה נדיבה של כ-5 מיליון דולר מקרן הלמסלי, הציב לעצמו חמישה עקרונות מפתח בחקלאות בת קיימא, תוך עמידה במבחן הכלכלי: **1.** מזעור השימוש בתשומות חקלאיות חיצוניות (מים, חומרי הדברה, דשנים כימיים, אנרגיה). **2.** מיחזור כלל הפסולת האורגנית ("אפס פסולת"). **3.** שמירת הקרקע כמשאב (משטר עיבודים משמר). **4.** דו-קיום בין החקלאות לחברה האנושית ובין החקלאות והמערכת האקולוגית הטבעית. **5.** רווחת חיות המשק.

הדרך למימוש עקרונות אלה, מבוססת בחלקה הגדול על פיתוח והטמעת עקרונות של חקלאות מדייקת וממשקים מבוססי בינה מלאכותית. בהקשר לכך נדגיש את העיקרון המנחה של יישום משתנה של תשומות בזמן ובמרחב (**variable application rate**). כלומר: מתן תשומות אך ורק בכמות, בעיתוי, ובמקום בו הן נדרשות על מנת למקסם רווח כלכלי, סביבתי, או חברתי (הסדר יכול להשתנות בהקשרים שונים). ההשקעות בהעמדת התשתית של משק המודל כללו לכן רכישה של מגוון רחב של כלים חקלאיים "חכמים" הנושאים חיישנים לזיהוי שונות ביוטית ואביוטית ומבוססי GPS, באמצעותם ניתן יהיה ליישם את הגישות השונות ולבחון אותן לאורך זמן ובמגוון תרחישים מבוקרים "מעשה ידי אדם", או כאלה שלא ניתן לחזות מראש ("מ"כוח עליון", כמו אירועי מזג אוויר והופעת מחלות בגידולים צמחיים וחיות משק). גישות מבוססות בינה מלאכותית תיושמו גם ברפת המדייקת, ע"י שימוש במגוון מערכות חישה, לניטור מדדים התנהגותיים ופיסיולוגיים קבוצתיים (יחסי הגומלין בין אינדיבידואלים בקבוצה - רשת חברתית) ופרטניים (פעילות, העלאת גירה, יעילות ניצול מזון, עקה), לשיפור הבריאות והיצרנות, ורווחת בעלי החיים.

עוד נדגיש כי למרות ששותפות של המגזר העסקי עם הפרטי חשובה ויכולה לתרום רבות להצלחתו של מיזם מסוג זה, הוא יכול להתקיים אך ורק במכון מחקר ציבורי/לאומי, וזאת משתי סיבות עיקריות: **1. סקאלת הזמן.** משק מודל בהגדרה מחייב ראייה ארוכת טווח של עשרות שנים. הפרקטיקה החקלאית צריכה להיבחן במכלול רחב של היבטים לאורך זמן. תהליכים המעורבים בקביעת ערך הפוריות של הקרקע, התפרצות מחלות והתפשטותן (מחלות צמחים ומחלות בע"ח), ושינויים במגוון הביולוגי של הקרקע והסביבה, הם ארוכי טווח ואינם יכולים להיבחן רק בחלון זמן צר. **2. חיבור בין דיסציפלינות מדעיות.** משק המודל מאגד כבר כעת חשיבה ופעילות של מעל 50 חוקרים ממכוני מחקר ומוסדות האקדמיה, ומדריכים חקלאיים מהמובילים בישראל, תוך מתן ייצוג למספר גדול של דיסציפלינות מתחומי החקלאות, מיכון, מחשבים ו-Big data. רק חיבור הדוק של פיתוחי בינה מלאכותית עם מומחים מתחומי הגידול, הגנת הצומח, רווחת בעלי חיים, טיפול בפסולת, מטאורולוגיה חקלאית, שימור קרקע, אגרואקולוגיה, ועוד, יאפשר לסגור את הקצוות ולמצות את הפוטנציאל הגלום בפיתוחים אלה.

החזון ומטרותיו של משק המודל תורגמו לפרויקט מעשי, בהקמת ארבע פלטפורמות עיקריות: **1.** מטע שקדים. **2.** גידולי שדה. **3.** רפת מדייקת. **4.** אתר מיחזור פסולת. המפה להלן מדגישה את מגוון הפונקציות של פלטפורמת המטעים וגידולי השדה. הפלטפורמות תוכננו תוך כדי תהליך חשיבה מעמיק וממצה, שנמשך על פני כשנתיים, במהלך התקיימו דיונים והתייעצויות עם עשרות חוקרים ובעלי עניין מהמגזר הציבורי והפרטי. חשיבותה הגבוהה של המערכת שנבנתה היא שניתן לראות בה פלטפורמה לאומית לכל דבר ועניין, אשר נותנת ייצוג למגוון גדול של יכולות קיימות ומספקת מספר בלתי מוגבל של הזדמנויות לפיתוחים חדשים בעתיד.

13. דוח צוות המשנה של המיזם הלאומי למערכות נבונות בנושא תחבורה

בראשות ד"ר ארז סברדלוב

6. המגמות העיקריות שיש לציין בהקשרים אלו הן:

א. כניסה לעידן הרכב האוטונומי.

ב. "סילוק" היסוד המושרש בתרבות המערבית של סיפוק צרכן ההיסע ע"י נסיעה ברכב פרטי שבבעלותו המוחלטת (כאשר בדרך כלל הוא נמצא לבדו ברכב, היכול לשאת עוד כמה נוסעים). התפיסה המתפתחת כאן הינה לספק לו תחליפים ראויים לפתרון מושרש זה שהם:

1. מעבר לתפיסה מהפכנית של "היסע כשירות" (Mobility as a Service= MAAS).

2. ארגון וניהול מערכת נסיעות שיתופיות במטרופולין, לצורך מיצוי קיבולת רכבי היסע, גם הקטנים שבהם, ובכך צמצום הגודש והעלויות הכלכליות והסביבתיות.

3. הגדלה רבתי של שיעור הנסיעות באופניים ובקטנועים (גם חשמליים).

4. שכלול דרכי אספקת התחבורה הציבורית: שינויי תפיסה לגבי תזמון נסיעות ומסלוליהן.

ג. כניסת הרכב החשמלי לזירה.

עיקרי התפיסה האסטרטגית לקידום AI בתחבורה

7. על מנת לתמוך באמצעות כלים ליישום בינה מלאכותית בתחבורה במטרות היסוד של התכנית הלאומית לקידום הבינה המלאכותית כפי שהוגדרו, יש צורך להתייחס לשתי סוגיות יסוד כפי שיפורטו כאן מיד בהמשך.

א. **זיהוי ומיפוי ההזדמנויות הנכונות לפתח בישראל ולממש יישומים של בינה מלאכותית**, וזאת לאור המגמות המנויות לעיל. מדובר ביישומים אשר לפי הערכתנו צפויים מצד אחד להקנות שיפור משמעותי ביותר של שירותי התחבורה ופתרון למטרופולינים המרכזיים בישראל ומצד שני לפתוח בפני התעשייה הישראלית הזדמנויות משמעותיות של יצוא רעיונות, תכניות וטכנולוגיות חכמות ובכך ליצור תועלת כלכלית רבה למדינה וגם ליצוק תדמית מבורכת לה.

ב. **הסדרת האקוסיסטם המערכתי בתחום התחבורה החכמה בישראל**. כיום אנו במציאות שבה גופי ממשל, מוסדות האקדמיה השונים והמגזר היזמי-תעשייתי פועלים ללא סינכרון אפקטיבי ביניהם; ללא שילובי ידיים המתבקשים כאן מאוד לצורך הקמת מערכות שירותים מבוססות בינה מלאכותית הממקסמות את התועלת; ותחת לקונות ארגוניות מסוימות.

כיווני פיתוח ויישום בעדיפות עליונה

8. אנו נמנה להלן את שורת נושאי הפיתוח והיישום בתחומי הבינה המלאכותית התחבורתית שיש להציבם בעדיפות עליונה, וזאת משלושה טעמים:

א. אלו הם נושאים המשיקים – לפי מיטב הערכתנו – לעוצמות וליכולות הייחודיות של משאבי הידע בישראל. היצירתיות והמצוינות בשווקי ההייטק כמו גם ניסיון שצברו חברות יזמיות שונות בתחומים אלו הופכים את התעשייה הישראלית למאוד רלוונטית בכישוריה לנושאים אלו.

ב. מדובר בנושאים הצפויים בעשר השנים הקרובות להיות בליבת סל הביקושים העולמי לתחבורה חכמה, כפי שנציג.

ג. לנושאים הנ"ל יש ערך עצום וברור בהקשר לצורכי מדינת ישראל בתחבורה חכמה עתידית.

מבט כללי

1. קיימת תובנה ברורה והסכמה מוחלטת בין כלל הגורמים המקצועיים כי משק התחבורה מציף כיום שפע של הזדמנויות להטמעת מערכי בינה מלאכותית מתקדמים ומורכבים, כאלה שבכוחם לספק מענים אפקטיביים ביותר לפערים ולצרכים אסטרטגיים ואופרטיביים עמוקים וחיוניים המהריפים כיום באופן דרמטי במדינות רבות בעולם.

2. דברים אלה אמורים בהחלט גם לגבי מדינת ישראל. כך - שירותי התחבורה בישראל חשופים למגמות של שחיקה והידרדרות קשה באיכויות השירותים המסופקים, כאלה המחוללים נזקים ישירים ועקיפים כבדים ביותר לכלכלה, לחברה ולסביבה. הנזקים השונים הנגרמים כיום למשק הם כבדים ובישראל הם מוערכים בסדרי גודל של עשרות מיליארדי שקלים בשנה. הם מתחלקים ביסודם לארבע קטגוריות:

א. **איכות ירודה ביותר של שירותי ההיסעים (Mobility)** – דהיינו, השירותים שמטרתם להניע אדם (או סחורה) מנקודה לנקודה במהירות ראויה ובזמן נכון. המקור העיקרי לאיכות ירודה זו הינו הגודש הנוראי הקיים לאורך שעות רבות ביממה על פני נתיבים רבים, בעיקר במרחבים המטרופוליניים. זוהי כיום הסוגיה הקשה והמרכזית בישראל ובערים רבות בעולם, שהשלכותיה הכלכליות והחברתיות במשקים נתפסת כבר כ"מכת מדינה".

ב. **נזקי תאונות דרכים** – הכוללים פגיעה פיזית בבני אדם; הפסדים בערכי כלי רכב; ופגיעות עקיפות כלכליות. מספר הנפגעים השנתי בקהילות ובמדינות השונות איננו פוחת כבר במידה משמעותית, בעוד שהרגישות החברתית-תקשורתית להרג ולפגיעת בני אדם גוברת מסיבות תרבותיות כאלו ואחרות.

ג. **זיהום הסביבה מכוח פליטות חומרים מזהמים מכלי הרכב**. זיהום זה של המרחב המטרופוליני הלך והעצים ב – 20-30 השנים האחרונות בעיקר בשל גידול דרמטי במספר כלי הרכב המנועיים בערים, כפי שהיה צפוי אל נוכח הגידול הדמוגרפי הטבעי וההתפתחויות הכלכליות במקומות רבים.

ד. **צריכת האנרגיה בשוק התחבורה** – צריכה זו הולכת וגואה נוכח הגידול הרב בשיעורי הנסועה.

3. ההתפתחות בעולם של טכנולוגיות שירותי תחבורה חכמה המיועדות לטפל בצמצום הנזקים הנ"ל ניכרת כבר למדי, אם כי מצויה עדיין בשלבים מוקדמים. לא בכולן יש כבר כניסה של מערכות בינה מלאכותית; אולם ניכר בעליל כי בעולם הבינה המלאכותית מונח פוטנציאל עצום ליישום מטרות בהקשר לצמצום הנזקים שנמנו לעיל.

מגמות היסוד בהתפתחות התחבורה העולמית

4. על מנת לקבל תמונה בהירה באשר ל"מחוזות" יישומי הבינה המלאכותית השונים בתחבורה חשוב תחילה להציג את המגמות המרכזיות הצפויות בשנים הקרובות להתגבר ולשלוט בעולמות התכנון התחבורתי. מדובר כאן במגמות שאפשר להניח מצד אחד בבירור שאין ולא תהיה למדינת ישראל השפעה משמעותית כלשהי על עצם הפיכתן לכוחות מניעים בעולם התחבורה; ומן הצד האחר ברור כי הן תתמקמנה ותשתרשנה גם בתוככי המשק הישראלי.

5. עם כל זאת המשק הישראלי הינו בעל עוצמה ממשית ומחזיק בפוטנציאל עצום של סיפוק תמיכות ביישומם של כלי ניהול ואסטרטגיות פיתוח שונות במסגרת התהליכים המונעים כבר במסגרת המגמות המרכזיות הנ"ל.

9. הנושאים המרכזיים שאנו מזהים הם:

א. בניית מערך תקשורת תחבורתית-מערכתית כוללת.

יש לכוון להקמתה של מערכת תקשורת חכמה המחברת באופן רציף בין כלי רכב; תשתיות פיזיות; ומוקדי שליטה ובקרה רגולטוריים. מערכת זו תכיל תקשורת שוטפת בין כלי רכב (V2V) המתגודדים במרחב; בין כלי הרכב לתשתיות השונות (V2I); תקשורת תוך-תשתיתית וכן תקשורת בין כלי רכב למעגלי שליטה ובקרה ולעוד גורמים.

נציין כאן כי התשתיות השונות המוזכרות כאן כוללות את נתיבי הכבישים; מתחמי חנייה ומחסומי חנייה בעלי אפיונים שונים; תחנות תדלוק ונקודות טעינה של רכב חשמלי; רמזורים; שלטי עצור; ועוד. המערכת תיתמך ע"י מערך מקיף של חיישנים שונים שיוקמו על פני כל המרכיבים הללו.

ב. פיתוח כלים בתחום אנליזת נתונים (Big Data AI analytics)

מידע חיוני מקיף ורחב מכל המקורות (כלי רכב, תשתיות ושחקנים אחרים) שיועלה לענן ויכלול רשתות רחבות של פרמטרים כמו ביזור כלי הרכב במרחב; מהירויות; אירועים חריגים בכביש; תפקודי נהגים והולכי רגל; ועוד ועוד. מידע זה יעבור עיבוד AI ע"י מערכות חישוביות ואנליטיות ויספק הדרכות, הנחיות וכוונונים שונים לכלי הרכב; למערכות הרמזורים; הודעות לנהגים ועוד.

ג. מערכת "קופסה שחורה"

מדובר במערכת חכמה שתותקן בחלופי זמן על פי חוק בכל כלי הרכב בארץ ותתקשר עם סנסורים ברכב בהתאם לפרוטוקול שייקבע ע"י תעשיות הרכב ו/או רשויות תחבורה באירופה ובארה"ב. יישומי הקופסה יהיו בעלי משמעות רבה מאוד בקידום פתרונות לסוגיות הגודש, הבטיחות ברכים והביטחון בכלל. זאת, בין השאר, ע"י כך שהקופסה תתעד עבירות והתנהגות נהג; תאפשר גביית מיסוי לפי נסועה וגביית תשלומי ביטוח שנתיים לפי היסטוריה התנהגותית של הנהג ברכב; תאפשר לעקוב אחר כלי רכב חשודים; ועוד.

גירסה מתקדמת של מערכת זו תותאם בעתיד הלא רחוק לרכב האוטונומי שייכנס.

ד. מערכת לניהול של "היסע כשירות" (Mobility as a service= MAAS).

מערכת ה-MAAS מסתמנת בבירור בעולם כמהפכה הבאה ממש בתחום אספקת שירותי הנסיעה לאזרח הבודד. מערכת זו תקבל מהאזרח הצרכן בנקודת זמן בה בחר השמנת שירות שבה מוגדרות נקודת המוצא והיעד שלו; זמן היציאה הדרוש; ואילווצים שונים נוספים אם ירצה הוא להציב. המערכת תספק מיידית לנוסע (על בסיס מודל ניהולי של בינה מלאכותית) אופציות לנסיעה נוחה ומהירה, תוך שימוש באופציות ההיסע האופטימליות, העשויות לכלול רכבים קנים/רכבים בינוניים בגודלם/היסע רכבתי או אוטובוסי וכיו"ב. כל זאת ללא חשיפה לבעיות משמעותיות של "מייל ראשון" ו"מייל אחרון". כמו כן תעסוק המערכת בניהול דפוסי התשלום תמורת השירות.

המודל ניהולי של השירות על בסיס בינה מלאכותית הנדרש כאן צריך להיות מוכוון גם למשקיים בהם פועל כבר רכב אוטונומי כרכב היסעים (במסגרת ציי רכב לשכירה רגעית) וגם לרכב חשמלי וכן אופניים וקטנועים.

פיתוח וניהול האקו-סיסטם הנכון

10. משעה שסומנו "נושאי הדגל" המרכזיים בתחום הבינה המלאכותית התחבורתית הרי יש לקבוע גם מהי התפיסה הנכונה באשר לרשת השחקנים השונים הפועלים בתחום זה בישראל, הזיקות התפקודיות ביניהם והאינטגרציה הנדרשת.

11. כאן נכון להערכתנו להאיר תובנה חשובה שיש להפנימה בקרב כל הגורמים העוסקים בנושא. העניין כאן הוא שאם מעוניינים אנו בפיתוח מערכות בינה מלאכותית שתספקנה מענים יעילים לבעיות התחבורה ההולכות כאמור ומח" ריפות במדינת ישראל, הרי ברור כי לא ניתן להפריד את החשיבה והבחירה בפיתוח ותעדוף ההשקעות במערכות אלו ולנתקה מתהליכי התכנון האסטרטגי התחבורתי אשר כוללים ניתוח מערכתי נכון של מטרות, יעדים, מדדים, חלופות וכיו"ב. הטמעת תהליכי תכנון אסטרטגי תחבורתי יעילים ונכונים (שחסרונם היה נתון לביקורת קשה בדו"ח מבקר המדינה האחרון) הוא המאפשר זיהוי ואבחון נכון של הצרכים במערכות בינה מלאכותית.

12. חוסר היכולת לנתק שיקולי בינה מלאכותית מהחשיבה הכוללת נובע מכך שברור מראש כי מערכת הכלים למימוש אסטרטגיות אופטימליות לקידום שירותי התחבורה איננה מורכבת אך ורק מכינון טכנולוגיות של בינה מלאכותית, ואף לא טכנולוגיות חכמות בלבד. זאת משום שישנם במציאות המודרנית כלים מאוד חשובים אחרים אשר ברור כי ישפיעו בעקיפין על תעדוף יישומי הבינה המלאכותית. בין היתר:

א. **מכשירים כלכליים**, ובהם "מקלות" ו"גזרים" שיופעלו על צרכני התחבורה. בין השאר אפשר למנות כאן אגרות גודש; מודלים של תערוף שירותים; מודל "נעים בירוק"; הכרה/אי הכרה בעלויות שימוש ברכב ע"י עובדים; מסים על רכב ודלקים; וכיו"ב.

ב. **הוספה ושיפור תשתיות פיזיות** (כבישים ומסילות; נת"צ-ים; וכיו"ב).

ג. **מגבלות שונות** שאפשר להטיל בעתיד על המשתמש ברכב פרטי (כולל איסור כניסות רכב פרטי למרחבים מסויימים בזמנים נתונים; ועוד).

ד. הפעלת מודלים של ניהול השירותים התחבורתיים.

13. עם זאת נכון לציין כי ככל שמדובר בפיתוח מוצרים ושירותים עתירי הבינה המלאכותית שניתן לייצא אותם למדינות אחרות ולהפיק בכך תועלת כלכלית ותדמיתית רבה לישראל, אזי יש מקום להתמקדות באפיון וביישום המערכות האלו לבדן. אולם - גם כאן - הצלחה בשיווק מוצרים ושירותים ובזיהוי המוצרים הנכונים והתואמים צורכי השוק מחייבת היכרויות והבנות עם צורכי התחבורה של העולם החיצוני לישראל.

14. כך או כך, המסקנה היא שמסגרת מבנית נכונה של האקו-סיסטם המקומי הינה כזאת המטמיעה את פעילויות הבינה המלאכותית התחבורתית במסגרת כלל העיסוקים השונים בחקר, בהסדרה ובניהול שירותי תחבורה חכמים ויעילים. אנו מזהים כאן מספר צרכים:

א. **בנייה וחיזוק במסגרת מוסדות האקדמיה של מרכזי/מוקדי פיתוח ידע ומחקר בתחום התחבורה המודרנית החכמה בכללותה.** יש מקום לראות בכך דיסציפלינה מרכזית נפרדת ("הנדסת תחבורה") ויודגש כי אף שנושאי הבינה המלאכותית בתחבורה יהוו שם נושאים שיושם עליהם דגש מיוחד, הרי לא נכון יהיה להגבילם רק לענייני הבינה המלאכותית התחבורתית אלא הם יעסקו בפיתוח כלי תמיכה כוללת בקידום מדיניות תחבורתית. עם זאת נכון הוא כי בתוך מוקדי הידע והמחקר הללו יש להבטיח כי תגובשנה יחידות מקצועיות חזקות בתחום הבינה המלאכותית.

נעיר כי יש מחסור חמור כיום בבוגרים אקדמיים בעלי ידע רלוונטי בתחום הבינה המלאכותית-תחבורתית, ובמסגרת המרכזים הללו יש לבנות מסלולי לימוד לתארים אקדמיים עם דגש לתחום הנ"ל. המטרה היא ליצור בשוק בתוך שנים מועטות מספר אלפי בוגרים בעלי מומחיות בתחום.

יש גם להעניק תמרוץ לאוניברסיטאות מסוימות בארץ ללמד בינה מלאכותית בכלל, ולא דווקא לבדד את מדיניות התמרוץ לתחום התחבורה אלא ללימודי בינה מלאכותית בכלל.

4.) **האיחוד האירופי** - שבמסגרת תכנית המחקר והחדשנות (הורייזן 2020) מממן כבר פיילוטים רבים בתחום התחבורה החכמה בערים שונות באירופה (ומקצתן, באופן מזערי, גם בישראל בעיריות ת"א וירושלים בהן צורכי החדשנות התחבורתית חריפים במיוחד).

5.) **חברות רכב עולמיות** - חלקן כבר מגלות עניין רב בשותפות עם גופי ידע ישראליים, שתסייענה בהרכבת מערכות בינה רכביות על רכבים מתוצרתם לצורכי הפיילוט ואף תרומנה למימון הפיילוטים.

6.) **מוסדות האקדמיה הישראלית** - באמצעות מוקדי המחקר שהוצע להקים יבצעו ניטור של מידע ותוֹ צאות שונות של הפיילוטים ויהוו גורם מרכזי בניתוחי ממצאים, הפקת לקחים ותמיכה בתהליכי קבלת החלטות הנגזרות מתוצאות הפיילוטים. נתוני ביצועים שיופקו במסגרת הפיילוטים ישמשו להערכת ההשלכות הצפויות עם ההתקדמות וההתרחבות של מגמות הכניסה של רכבים אוטונומיים ורכבים חשמליים בעתיד.

15. נדגיש כאן לסיום כי בשל המורכבות הרבה של הפעלת מערכות השירותים התחבורתיים המודרניים עתירי הבינה המלאכותית, והניסיון ההיסטורי שהינו עדיין מוגבל מאוד, יש ערך רב מאוד לייבא גם ידע וניסיון שיופקו מפיילוטים רבים שייעשו במקומות אחרים בעולם. קיבוץ הלקחים והניסיון מערים רבות נוספות בעלות מאפיינים שונים וממגוון טכנולוגיות העוברות בדיקות ירחיב ללא ספק באופן משמעותי עד מאוד את הידע והיכולת לממש בישראל את הפוטנציאל הגלום במערכות הבינה המלאכותית.

16. אכן - למדינת ישראל יש יכולות טכנולוגיות מקצועיות גבוהות מאוד להשתלבות בפרויקטי פיילוט אלו המתבצעים בעולם. עם זאת, לצורך השתלבות מועילה שתהיה בעלת תרומות ארוכות טווח להגשמת החזון והמטרות שלנו בנושא יש לפעול לחבירה קבועה לאורך זמן לפורומים אירופאיים בהם ניתוות שותפויות ונבנים מאגדים רבי עוצמה המריצים פיילוטים במקומות שונים בעולם. מאגדים אלו כוללים בין השאר את חברות הרכב הגדולות של אירופה, נציגי ערים מרכזיות ועוד.

17. מומלץ אפוא לפעול כבר עתה באדיקות להשתלבות גורמים רלוונטיים מישראל במאגדים הנ"ל.

ב. במסגרת המערכת הרגולטיבית נדרשת קיומה של רשות תחבורה שתחומי הסמכות והאחריות שלה יהיו אלה:

1.) גיבוש עקרונות מנחים לבניית תשתיות תחבורתיות;

2.) גיבוש רגולציה לתחבורה חכמה, תוך הבנה של קיום בצוותא עם ציי המכוניות הקיימים;

3.) קביעת כללים מנחים להתאמת תשתיות קיימות לתחבורה חכמה (בין היתר, שימוש במערכות IoT); קביעת הכללים לבניית תשתיות חדשות לתחבורה חכמה;

4.) קביעת הרגולציה על רכב חכם;

5.) בקרה ופיקוח על יישום.

בנוסף, הרשויות גם תתאמנה את הקמת התשתיות המשפטיות-רגולטוריות ככל שהן נדרשות. באשר למיקומה הארגוני של הרשות בממשלה, ראוי לציין כי הפעלת כלל הסמכויות הנ"ל מחייבת תיאום עמוק ולעתים מורכב מאוד בין כמה משרדי ממשלה שצפויה מעורבות נדרשת משמעותית שלהם. בהם ניתן למנות – לבד ממשרד התחבורה - משרדי האנרגיה, הגנת הסביבה, האוצר, הפנים, התקשורת והמשפטים. אשר לכן – נכון למקם רשות זו במשרד ראש הממשלה. למעשה – קיימת היום כבר במשרד מנהלת האמונה כבר בהגדרה על נושאי תחבורה חכמה. הנכון הוא אפוא להקים הגוף המוצע כאן על גבי הפלטפורמה הקיימת כבר במשרד רה"מ הזאת תוך הפיכתה לרשות רגולטורית עם סמכויות ואחריות המוסדרות בחקיקה.

ג. נכון להקים רשויות מטרופוליניות וכן עירוניות מסוימות שבמסגרת המכלול השלם של תפקידיהן כרגולטורֹים רים תחבורתיים הן תשקענה רבות בתכנון; אפיון; הוצאת קולות קוראים ומכרזים לפיתוח, רכישה, הטמעה ותפעול של טכנולוגיות הבינה המלאכותית; וכן ניהול ובקרת התפעול השוטף של מערכות אלו. הן תהיינה כמובן אמונות רק על המרחב הפיסי שלהן.

ד. בנוסף לכל האמור לעיל יש לזכור כי פיתוחן של מערכות שירותי תחבורה יעילות וחכמות מן הסוגים שהוזכרו לעיל מחייב ראייה ארוכת טווח ויצירתית, ומדובר במערכות חדשניות ומהפכניות במהותן.

לכן - על מנת לקדם נכונה את תהליכי הפיתוח הנ"ל ולהפוך את ישראל למעצמת בינה מלאכותית בתחום התחבורה על ישראל להקים עיר ניסויים חכמה (או אפילו 2-3 ערי ניסוי) שבהן תיבחנה לאורך תקופה ארוכה יחסית מערכות הבינה המלאכותית השונות. בחינות אלו תשמנה לצורך בחינת הביצועים; צרכים בשיפורים ובתיקונים שונים; זיהוי חסמים; והפנמה הדרגתית של תפיסות השירות החדשות והמעודכנות בתודעת הציבור.

כאן נדגיש כי בפרוייקטי הפיילוט השונים יש הזדמנויות ברורות וצורך עמוק בשילובם יחד של מספר שחקֹנים. נמנה להלן את כל השחקנים הללו תוך הצבעה בתמצית על תרומותיהם המרכזיות לתפעול הפיילוטים:

1.) **הרשויות הרגולטוריות** שיש להקיםן – רשות התחבורה ורשויות מטרופוליניות. רשויות אלו יתניעו הפיילוטים ויגדירו את עיקרי המטרות והמידע שיידרש.

2.) **יזמים מקומיים וחברות תעשייתיות מתקדמות** – ישנם רבים העוסקים כבר כיום בפיתוחי בינה מלאֹכותית-תחבורתית.

3.) **רשות החדשנות במשרד הכלכלה** - תהיה אחד הגורמים המממנים יזמים שייבחרו כמתאימים לתרום לפיילוטים באמצעות מוצרים ושירותים אותם הם מפתחים (או שפיתחו).

14. דוח צוות המשנה של המיזם הלאומי

למערכות נבונות בנושא בינה מלאכותית

לביטחון הלאומי של ישראל

בראשות תא"ל עומר דגן

תמצית

טכנולוגיות הבינה המלאכותית מגלמות כבר כיום, פוטנציאל לקפיצת מדרגה משמעותית בפעולתם של כוחות הביטחון ולתרומה לביטחון הלאומי של ישראל. אך, תידרש השקעה משמעותית לטובת מיצוי פוטנציאל זה ולקידום מדינת ישראל לעמדת מעצמת בינה מלאכותית בכלל, ובגופי הביטחון בפרט.

מאידך גיסא, מזה כמה עשורים, מהווים כוחות הביטחון, ובראשם צה"ל, מרכיב מרכזי בקידום ההייטק הישראלי, בשני רבדים: כוח האדם האיכותי והמנוסה לצד השקעות עתק בתעשייה לקידום יכולות ביטחוניות בקצב מואץ.

צוות הביטחון בחן את שתי זוויות ההסתכלות הללו, קרי: כיצד טכנולוגיות הבינה המלאכותית במאמץ לאומי יעצימו את הביטחון הלאומי, וכיצד מערכת הביטחון תסייע לקידום ישראל לעמדת מעצמת בינה מלאכותית.

בנספח **מסווג** למסמך זה, נפרט את התועלות המוכחות וכן הצפויות בעשור הקרוב, לביטחונה ולחוסנה של מדינת ישראל, בזכות השימוש בטכנולוגיות הבינה המלאכותית. לתועלות אלו, החזר השקעה (ROI) ברור בשיפור פעולתם של כוחות הביטחון והן הכרחיות להתמודדות עם מס' היסטים שנפתחו במס' תחומים בשנים האחרונות.

בפרק בלתי-מסווג זה, נסקור מספר המלצות שאף יעצימו את השפעתם של כוחות הביטחון והאקוסיסטם המתקיים בישראל עמם על התקדמותה של מדינה ישראל להיות אחת ממעצמות הבינה המלאכותית המובילות בעולם.

מבנה הפרק:

- רקע לעבודה
- אתגרים ויעדים
- מנגנונים ליצירת תשתית שיתופית בתוך מערכת הביטחונית
- מנגנונים ליצירת שיתופי פעולה עם האקדמיה, התעשייה ושותפים בינ"ל
- מנגנונים להאצת פיתוח כוח אדם בעולם המידע
- סיכום המלצות
- מקורות שנסקרו

להלן עיקרי ההמלצות (**top 8**) :

חיזוק הקהילה ושיתופי הפעולה

- הקמת תשתית מחשוב מעצמתית (Hyper Scale; בהקשר זה המעצמות הן אמזון, מיקרוסופט ועוד), בעדיפות בדמות ענן ציבורי-פרטי כחלק ממאמץ לאומי להקמת אזור ענן ציבורי בארץ, משותפת לכלל גופי הביטחון, אשר מתקיימת בה האפשרות לעבד מידע מסווג תוך שימוש בשירותים מובנים בענן שמקצרים משמעותית את תהליך הפיתוח. העלות המוערכת הינה כ-2 מיליארד דולר ל-5 השנים הבאות.**
- הקמת מרחב עבודה משותף (דמוי קאגל) עבור קהילת המפתחים הביטחוניים (גופי הביטחון, התעשייה והאקדמיה), הכולל דאטה-סטים מתוייגים, שאלות מחקר ואתגרים, קוד פתוח לפתרונם. העלות המוערכת ל-5 שנים הינה 75 מיליון ש"ח (בהיתןן הקמת התשתית שבסעיף 1. לעיל).

3. הקמת סביבת ניסויים פיזית, בעיקר ליכולות אוטונומיות. מרחב בו יבוצעו ניסויים ואימונים באופן שוטף (להבדיל מתרגילים, שהם "חד פעמיים"). לצד מעבדה תפיסתית אשר תקדם חשיבה מערכתית על זרועית ועל ארגונית לשילובה של הבינה המלאכותית לקידום הביטחון הלאומי של ישראל. שני גופים אלו, יוכפפו למנהלת מפא"תית וינוהל עבורם תקציב בהיקף של מאות מליוני ש"ח.

4. הקמת גוף מעצב מדיניות ומשילות בתחום המידע לכלל הגופים, מתפקידו בין השאר לנהל את מרחב העבודה לקהילה, לעסוק בסוגיות של משילות מידע ומדיניות, סטנדרטיזציה של מידע, בקרה על אתיקה של אלגוריתמיקה. בנוסף על כך, תחת אחריותו של הגוף יהיה מרכז מצויינות שיהווה מוקד ידע לאומי לתחומי האלגוריתמיקה של מדעי הנתונים, וילווה את כלל גופי הביטחון. הגוף יוקם תחת ה-CDO הצה"לי (ר' אגף התקשוב וההגנה בסב"ר) בהיקף של ענפים ותקציב לטובת משימות אלו.

5. קיום ועדת היגוי משותפת לגופי הביטחון והממשלה, לקידום שיתופי פעולה מכלל הסוגים.

הצגת תוכן זה נעשת באופן אוטומטי על ידי מערכת האנציקלופדיה הפתוחה וייתכן והיא איננה מדויקת.

חיזוק עוצמת מדינת ישראל הנגזרת מגופי הביטחון

6. **יש להגדיל משמעותית את היקף ואיכות כ"א שעוסק בנושא בצה"ל (ב-1500 אנשים) אשר יהוו מכפיל כח בטחוני בשנים הבאות, זאת נוכח זיהוי תרומתו הישירה של עולם תוכן זה לקטלניותו ועוצמתו של צה"ל, ואשר ישתלבו בהמשך באקו-סיסטם הלאומי עם יכולות וניסיון רבים ויעצימו אותו.**

7. שינוי מערכת היחסית בין מערכת הביטחון וצה"ל בפרט למערכת האזרחית (תעשייה, אקדמיה וכו') ע"י העמקת שיתופי הפעולה עם התעשיות והאקדמיה בישראל, באמצעות יצירת ערוצי התקשרות זריזים, סבסוד ממשלתי להתקשרויות אלו, בילמוס נתונים לצרכי מחקר, התאמת מודלי העבודה לצרכים ביטחוניים מסוגים ועוד.

8. העמקת שיתופי הפעולה הביטחוניים הבינלאומיים (G2G) למינוף הדדי של יכולות ייחודיות בתחום הביטחון ואשר בעלות פוטנציאל גבוה ליצירת הכנסה בתמורה.

1. רקע

כוחות הביטחון מקדמים בהצלחה פתרונות בינה מלאכותית במספר תחומים מזה מספר שנים, לדוגמא:

- יישומי ראייה ממוחשבת – לניתוח חוזי בעולם המודיעיני והמבצעי.
- יישומי ניתוח קול ושפה – בעולם המודיעיני.
- יישומי למידת מכונה וניתוח אנומליות למיצוי מידע סנסוריאלי – בעולם המבצעי.
- יישומים אוטונומיים לתמרון היבשתי - בעולם המבצעי.

יחד עם זאת, ההשקעות עד כה בתחום, נעשו במסגרות פרויקטאליות וללא יד מכוונת, בהיקף מצומצם מאוד וללא מיצוי מלוא הפוטנציאל הטמון בתחום אלא רק חלק קטן מאוד ממנו. לקראת התר"ש הבאה, מתקיימת ההבנה בכלל כוחות הביטחון, כי נושא הבינה המלאכותית נדרש לתוכנית אסטרטגית. הפוטנציאלים המזהים לקפיצת מדרגה, באופן ראשוני, הינם: עליונות מודיעינית, בינה מבצעית, אוטונומיה, והתייעלות. תוכנית למימוש הפוטנציאלים הללו, תחייב השקעות ממשלתיות נרחבות.

בצה"ל, מיצוי המידע והבינה המלאכותית הוגדרו כאחת מתוכניות ההתעצמות המרכזיות בתר"ש. תוכנית זו תפרט את התועלות הייחודיות לעליונות צה"ל בתהליכו המרכזיים ותכיל שני מרכיבים מרכזיים:

- קידום פלטפורמה ותשתיות - תשתיות מחשוב מעצמתיות, ענניות, לאגירה ועיבוד נתוני עתק, שירותים לתיעוש תהליכי המחקר, ערוצי התקשרות עם התעשייה והאקדמיה להאצת בניין יכולות אלו בתר"ש.
- בניית הכשרות ומקצועות מתאימים - כוח אדם ייחודי לבניית יכולות אלו בתר"ש.

תהליכים רב שנתיים דומים מתקיימים גם בשירותי הביטחון הנוספים.

^[1] המיזם הלאומי למערכות נבונות בטוחות - חלק ב' דוחות צוותי המשנה ורשימת משתתפי המיזם | 249

בין השאר, נטען כי:

- בעידן הנוכחי, שימוש בבינה מלאכותית בגופי הביטחון יגביר את עוצמת המדינה והביטחון הלאומי בסדר גודל ולכן מחייב השקעות ברמה מדינתית.
- השימוש בבינה מלאכותית בגופי הביטחון מחייב קשר הדוק עם התעשייה (הביטחונית ובכלל) והאקדמיה, ולכן מעצים את העשייה בתחום בישראל.
- גופי הביטחון, בפרט צה"ל, מכשירים כ"א איכותי לתחומי הבינה המלאכותית ובכך תורמים לפיתוחה של ישראל כמעצמת בינה מלאכותית.

מטרת פרק זה, להביא לשינוי מערכת היחסים של המערכת הביטחונית, ובפרט צה"ל, עם האזרחות לקידום האקו-סיסטם הלאומי בכלל והביטחוני בפרט, ולהציע מנגנונים שמצד אחד יעצימו את יכולות גופי הביטחון בתחומי הבינה המלאכותית ומהצד השני, יחזקו את מדינת ישראל כמעצמת בינה מלאכותית.

נציע מנגנונים במספר תחומים:

- יצירת תשתית שיתופית המקדמת טכנולוגיות ושיתופי פעולה בין הגופים הביטחוניים מבוססי בינה מלאכותית.
- קידום שיתופי פעולה עם התעשייה והאקדמיה להאצת תועלות מבוססות בינה מלאכותית.
- פיתוח כח אדם לעולם הדאטה כמנוע צמיחה למשק הישראלי.

2. אתגרים ויעדים

ראשית, נסקור מהן הבעיות והאתגרים שבהתעצמות בתחום הבינה המלאכותית בקרב גופי הביטחון, ומהם יגזרו ההמלצות והיעדים לכל תחום:

בתחום תשתיות הדאטה

- תהליך למידת מכונה ובינה מלאכותית נסמך לרוב על ניתוח מידע. היעד הוא קיומם של קבצי מידע מתווייגים, רלוונטיים למערכת הביטחון (אתגר ייחודי נוכח חוסר היכולת להשתמש פעמים רבות במידע מתויג הקיים באינטרנט ואשר אינו מתאים לצרכים הביטחוניים הייחודיים). העוצמה של גופי הביטחון טמונה במידע שהם מחזיקים וביכולת להפעיל עליו אנליטיקות מתקדמות.
- יעד** נוסף הוא יכולת עיבוד ואגירה בהיקף מספק המתחייב מעצם הטכנולוגיה.
- הפערים** המרכזיים: מגבלות שיתוף דאטה בשל סיווג, קניין רוחני, פרטיות, זמינות, ואי-קיומה של תשתית מחשובית רחבה וחזקה מספיק לאפשר היכולות הנדרשות.

בתחום כ"א

- כבכל תחום טכנולוגי מתפתח, כוח האדם הנדרש למשימה נמצא בחוסר משווע. **היעד** הוא הבטחת כ"א מספק למערכת הביטחון ולמדינה, בכל שכבות פירמידת המקצועות.
- הפערים** נובעים מהזמן הקצר שהתחום נדרש (היצע וביקוש) ומכך שהקצה העליון בפירמידה מחייב שנים רבות של הכשרה באקדמיה, ולצה"ל אין יתרון יחסי בהכשרה ברמה זו (לעומת המקצועות האחרים בפירמידה, שיכולים להתבסס על מועמדים לשירות בטחוני שיוכשרו במסגרת הכשרות יסוד צה"ליות). יחד עם זאת, לגופי הביטחון יתרון ביצירת חיכוך וניסיון מעשי עם בעיות מורכבות. כמו כן, מתחייבת התעצמות משמעותית בכוח אדם ייחודי זה.

שת"פ (תעשייה, אקדמיה, בעלי ברית ותאגידים בינ"ל)

- היעד** הוא ביסוס ישראל כמדינה מובילה בתחום ה-AI הביטחוני, והתחברות למוקדי ידע ונכסים ייחודיים בתחום ברמה העולמית .
- הפערים** המרכזיים הינם שיתוף פעולה שאינו מספק בשל תחרותיות בין הגופים השונים, או חוסר היכרות. פערים אלו מביאים לקצב איטי של התעצמות, השקעות כפולות ועוד.

3. מנגנונים ליצירת תשתית שיתופית

ישנן מספר רמות בהן ניתן לקדם שיתופי פעולה בין הגופים השונים, החל בהעברת ידע, העברת מידע, סביבות משחק משותפות וכלה בגופים משותפים לביצוע משימה. אנו יוצאים מנקודת הנחה כי שיתוף הפעולה בין הגופים יאגבר את פעולתם.

ידע:

- לצה"ל מעבדת מצוינות שמהווה מוקד ידע לתחום. ניתן להתייעץ עמה בכל סוגיה ולקבל ליווי מקצועי לכל בעיה שהינה בתחומי האלגוריתמיקה של מדעי הנתונים. מוקד ידע זה יורחב לעיסוק בטחוני-לאומי, יתן מענה ושירותים לכלל גופי הביטחון והתעשייה הביטחונית ויחזיק באוסף פתרונות ויישומים ייחודיים לסוגיות ביטחוניות.
- קידום תשתיות קוד פתוח של הגופים הביטחוניים עם ארגז כלים לאומי לבעיות משותפות, מאפשר הורדת מחיר הכניסה למימוש פתרון.
- מתחייבת למידה מתמשכת של גופי הביטחון סביב הפוטנציאל הגלום בטכנולוגיה, השפעותיה על תורות הלחימה והתפיסות, ומימוש תהליכי השתנות רציפים, למעשה קיום תהליכי מחשב משותפים (כדוגמת מיזם זה) באופן מתמשך.
- אחד הנושאים המרכזיים בתר"ש הקרובה של מערכת הביטחון הוא תחום האוטונומיות של כלים בלתי מאוישים. לתחום זה נגיעה נרחבת עם נושא הבינה המלאכותית ומדעי הנתונים. ניכר שהגופים שעוסקים בנושא ומקדמים אותו למול התעשייה, מתמחים בעיקר בפלטפורמות. יש לייצר גוף ידע שמתמחה בבינה המלאכותית ונכסי המידע בתחום הרובוטיקה והכלים הבלתי מאוישים.

מידע:

- כאמור, המידע הוא עוצמתם המרכזית של גופי הביטחון וצריך לנצלו באופן מיטבי. דאטה-סטים (DATA משוטח מהונדס לצרכי מחקר מידע) מתווייגים לטובת לימוד והעברת ידע, ייחודים לעולם הביטחוני (באינטרנט, לדוגמא, יש דאטה-סטים של רכבים אבל אין של טנקים). ברור כי המידע קיים כיום במערכת הביטחון אבל לא מתקיים שיתוף אחד עם השני. שיתוף של דאטה-סטים הינו אינטרס משותף של כלל הגופים לקידום מחקרים באופן עצמאי. על כן, נדרשת תשתית מאובטחת לשיתוף זה.
- קידום תשתית ליכולת de-identification התממה ואנונימציה של מידע, שתאפשר הצפנה של מידע באופן שלא יתאפשר להתחקות אחר תוכנו, אולם יתאפשר לייצר מעליו אלגוריתמים לומדים אשר משמרים את היחס בין הנתונים והתוצאות החזויות.

כלים וגופים משותפים:

- תחום ה-Data Governance תופס תאוצה בעולם העסקי ומחייב מומחיות ייחודית. מומלץ להקים ועדה מבקרת משותפת, ייעודית לעולם הביטחוני, לו אתגרים ייחודיים, לצד תקנות "אזרחיות" (שעוד נדרש לבחון את הרלוונטיות שלהן לעולם הביטחוני).
- את הדאטה-סטים, הידע והקוד הפתוח ניתן לאגור ולתעד בתשתית דמויית קאגל (אתר אזרחי לקהילת ה- data scientists בעולם), תשתית ייעודית למידע ביטחוני שמורשי הכניסה אליה יהיו גופי הביטחון. חברי הקהילה הביטחונית יוכלו לפתח על גביו במנגנון של תחרות לצד שיתוף וקטלוג של בעיות ופתרונות, דאטה-סטים מתווייגים - הכל פתוח לשימוש חברי הקהילה הבטחונית. יש להטיל את משימת מימוש אתר "קאגל בטחוני" ומרחב ענני לקידום מחקר משותף על צה"ל לטובת כלל כוחות הביטחון.

^[1] המיזם הלאומי למערכות נבונות בטוחות - חלק ב' דוחות צוותי המשנה ורשימת משתתפי המיזם | 251

- בנוסף על כך, ניתן לרכוש פלטפורמה משותפת לתיוג המונים, בה תתקיים מגבלת סיווג למתייגים ויתאפשרו תהליכים להתממת מידע שמועבר לגורמים אזרחיים.

- מפא"ת נדרשת לפתח מנגנון המייצר שקיפות מירבית בין כלל הגופים על מו"פים המתקיימים, תוך מתן אפשרות להצטרף ולהשתתף ברמה כזו או אחרת.

- ניתן לאמץ את תפיסת הפיתוח הרווחת בצה"ל בשנה האחרונה לתועלות בתחום הבינה המלאכותית, בעיקר כאשר מדובר בתועלות שיש להן שימוש רב זרועי, על ידי הקמת WeWork-ים, במתחמים פיזיים משותפים. כשגוף שמעוניין לחבור ל-WeWork, הוא יגדיר תוצרים נדרשים ולמעשה יחליט באיזה אופן ישקיע ב-WeWork - אם בתקציב ואם בכוח אדם שיהיה שותף לתוצאות המתפתחות בו.

- העננים הציבוריים מובילים כיום ביכולותיהם בתחום הבינה המלאכותית, המסופקים כשירות. נדרשת השקעה משותפת לכלל הגופים, ליצירת פתרון מאובטח להעברת מידע לענן ציבורי, שימוש בשירותים הציבוריים והחזרת התוצאה המעובדת לשימוש פנימי במערכות כוחות הביטחון.

- בהמשך לכך, נדרש להקים תשתית ענן ציבורי-פרטי, מאובטח לצרכים ביטחוניים (לכן, בין השאר, מתבקש ששרתיו על אדמת מדינת ישראל). מדובר בהשקעה עצומה ולכן מחייבת התאגדות של כלל גופי הביטחון לצורך כך והתערבות מדינתית בהאצת פתרון זה.

- צה"ל משולב כיום בפרויקט AutoML של DARPA. מדובר בכלי אשר מייצר אוטומציה ותיעוש לתהליכי מחקר המידע המייצרים מודלים של בינה מלאכותית. יש לייצר WeWork משותף לכלל כוחות הביטחון בתחום זה, להנצלת השימוש בתועלות מהכרויקט בפלטפורמות השונות של גופי הביטחון.

- נדרשת הקמת סביבת ניסויים פיזית, בעיקר ליכולות אוטונומיות. מרחב בו יבוצעו ניסויים ואימונים באופן שוטף (להבדיל מתרגילים, שהם "חד פעמיים" והקמתם כרוכה באנרגיה רבה). המלצה זו נדרשת תיאום נרחב עם תחום הרובוטיקה, שאינו מורחב בפרק זה.

- נדרשת הקמת מעבדה תפיסתית, שמטרתה ביצוע סימולציות מערכתיות לתהליכים על-זרועיים (כלומר שאינם של גוף מסוים) בהם משולבת טכנולוגיית הבינה המלאכותית.

- חשוב ליצר מנגנון "שולחן עגול" בין גופי הביטחון לגופים הממשלתיים בכדי למצות פוטנציאלים משותפים, ניכר מהמפגש שהתקיים במסגרת מיזם מערכות נבונות בטוחות כי שני מגזרים אלו יכולים להפרות אחד את השני.

- פרויקט לאומי גדול אחד או שניים שממנו ניתן ללמוד על העבודה המשותפת, האתגרים וההתמודדות עמם. דוגמא לפרויקט אפשרי שיש בו אינטרסים משותפים לכלל הגופים - שיטות להתממת מידע על מנת שיועבר לענן ציבורי, או אוטונומיה של כלים בלתי מאויישים באמצעות למידת חיזוק (נושא מרכזי שהוגדר לתר"ש הקרובה בצה"ל).

4. מנגנונים ליצירת שיתופי פעולה עם התעשייה והאקדמיה

ההובלה המדעית ופריצות הדרך עברו זה מכבר מגופי הביטחון למרכזי המחקר בתעשייה (כגון גוגל, IBM ועוד) ולאקדמיה. בכדי להדביק את הקצב, על גופי הביטחון לדבוק באימוץ מקסימאלי של תוצרים מהאזרחות וליצר שיתופי פעולה עם האקדמיה להאצת מימושי המחקרים המתקדמים ביותר לצרכים הביטחוניים. בנוסף, מתקיימת ההבנה כי בכדי לעסוק במימוש ליכולות בינה מלאכותית נדרש עומק אקדמי וקורסים מסוימים באקדמיה מכשירים למשימה זו. להלן מספר המלצות לקידום שיתוף פעולה זה:

- יכולת לשלם תעריפי שכר גבוה לחוקרים בתחום כדי שתתאפשר העסקתם במערכת הביטחונית (נדרש לפתח מודלי העסקה במשרה חלקית ומעורבות האקדמיה בתעשייה הביטחונית). מודל דומה קיים עבור מומחי סייבר.
- שילוב של אנשי מערכת הביטחון בלימודי מחקר מתקדמים ואף כחברי סגל באוניברסיטה.
- מרכזי מחקר משותפים למערכת הביטחונית ולמערכת האקדמית, עם יכולת לקיים מחקרים שהמידע בהם מסווג (המאמרים שיפורסמו יידרשו לתהליך הורדת סיווג). מרכזים אלו יוכלו לעסוק בסוגיות שמעניינות את כוחות הביטחון כגון עיסוק בשפות שמיות. מעורבות ועידוד מצד הות"ת למחקרים אלו.

- קיום הכשרות וקורסים שיועברו על ידי האקדמיה במסגרת צבאית בבית הספר למקצועות המחשב של צה"ל יהוו שער כניסה לתחום כיוון שיקנו נקודות זכות לתואר.

- יצירת תוכניות משותפות ללימודים מתקדמים עבור אנשי כוחות הביטחון, תוך התחשבות באחוזי משרתם, והכרה בלימודים קודמים שביצעו במסגרת הכשרתם (קרדיטציה).

- שת"פ עם תאגידים בינ"ל מובילים בתחום הבינה המלאכותית, כדוגמת מיקרוסופט, יבמ ועוד. לתאגידים אלו מרכזי מו"פ משמעותיים בישראל שעוסקים בתחומים רלוונטיים לגופי הביטחון, מומלץ לעודד שיתופי פעולה עמם באמצעות הטבות ממשלתיות, ערוצי רכש מהירים ודרך גוף מתווך מתאים (כדוגמת רשות החדשנות), אפשר לעניין את חלקם לשתף פעולה ברמת ה-IP - מרכז פיתוח משותף לאפליקציות דו-שימושיות.

- שיתופי פעולה בינלאומיים הינם קרקע פורה לקידום תשתיות בינה מלאכותית לישראל, ובפרט לגופי הביטחון. קשרי G2G עם מעצמות הבינה המלאכותית בעולם - בראשן ארצות הברית, יביאו תועלת גדולה הן לקידום היכולות והן בהיבטים כלכליים. קידום שיתוף פעולה אסטרטגי עם הממשל האמריקאי כגוף מוביל בעולם בתחום הבינה המלאכותית. אפשר לקדם MOU בתחום שת"פ מו"פ והכשרה בנושא בינה מלאכותית, עם מרכיב ביטחוני.

5. מנגנונים להאצת פיתוח כ"א בעולם הדאטה

ראשית נסקור את המקצועות השונים הנדרשים לקידום עולם הדאטה והבינה המלאכותית, ומהם הכישורים הנדרשים לכך:

- מדען נתונים (Data Scientist) - מבצע מחקרי מידע מורכבים לתהליכי חיזוי ולמידה לא מפוקחת. לרוב נדרש רקע אקדמי עמוק בתחומי המדעים, יכולת תכנות, הבנה סטטיסטית.

- מהנדס מידע (Data Engineer) - אחראי על שינוע הנתונים והנדסתם במאגרי עתק. הנגשת המידע לאנליסט ולמדען, ויישום מודלים ואנליטיקות שפותחו בסביבת הייצור (deployment). בעולם נדרש רקע של הנדסת תוכנה ויכולות תכנות תשתיות.

- אנליסט מידע (Data Analyst) - אחראי על שליפת מידע ממאגרי עתק והנגשת המידע באופן ויזואלי כמענה לשאלות אד הוק.

- מתייג מידע - אחראי על טיוב הנתונים הגולמיים על מנת שתתאפשר הרצת המודלים המורכבים עליהם.

מבין גופי הביטחון, הגוף המרכזי שמגייס ומכשיר כ"א הינו צה"ל. כאשר, גופי הטכנולוגיה בצה"ל (ובראשם אגף התקשוב ואמ"ן) מהווים שער כניסה והכשרה מרכזיים להייטק ול"סטארטאפ נישן" בישראל. כ"א שמוכשר בצבא, מתנסה באופן מעשי בבעיות מורכבות ומאתגרות ואז משתחרר לשוק האזרחי, ברמה מצוינת (הרעיון להגיע לטופ נוצ'). לא בכדי, יחידות כמו 8200 אופק ולוט"ם (ממר"ם לשעבר) נחשבות למותג בכ"א בהייטק הישראלי ולערובה ליכולותיו המקצועיות של המשתחרר.

ניתן למנף את ההכשרות המתקיימות בצה"ל לצד הניסיון המעשי אותו רוכשים החיילים והקצינים, בכדי להגדיל משמעותית את היקפי כ"א המוכשר והמנוסה, בתחום בישראל.

להלן מספר כיווני פעולה בהקשר זה:

- עתודאי DS - בתר"ש הקרובה צפויה לגדול מגמה זו מ-0 ל-210 תקנים. העתודאים משתחררים לאחר 5.5 שנות שירות, וזאת לאחר שרכשו ניסיון מעשי ופיקודי רב. בשנת 2018 היוו עתודאים כ-2/3 מהלומדים לתואר ראשון בתחום. מה שמעיד על כוחו של צה"ל לשכנע את הנוער להגיע לתחום זה. מגמה זו כמובן תימשך בתר"ש, ויש להרחיבה, שכן הצורך בעתודאים אלו הולך וגובר. ההמלצה היא להגדיל את השיא הנ"ל ל-500. כאמור, מקצוע ה-Data scientist מבוסס רובו ככולו על רקע אקדמי עמוק, והיתרון של צה"ל הוא בעיקר ביצירת חיכוך וצבירת ניסיון רלוונטי.

- תוכניתני DE - מסלול ייחודי אשר מרחיב את מקצוע התוכניתן (קורס יסוד 1800 בבית הספר למקצועות המחשב בצה"ל) לתחומי הנדסת הנתונים. במהלך 5.5 שנות שירותם צוברים התוכניתנים ניסיון מעשי בניהול נתוני עתק. התוכנית כיום עומדת על כ-200 תוכניתני DE. ההמלצה היא להגדילם ל-600, תוך הרחבת סגל בית הספר למקצועות המחשב בצה"ל.

^[1] המיזם הלאומי למערכות נבונות בטוחות - חלק ב' דוחות צוותי המשנה ורשימת משתתפי המיזם | 253

בנוסף לכך, ניתן לייצר מסלול ייחודי אשר מכשיר תוכניתנים אלו ללימודי תואר ראשון במדעי הנתונים, כך שמקביל לנסיונם כמהנדסי מידע, יתפתחו מקצועית ל-DS. יש להדגיש כי לטובת מקצוע ה-Data engineer לא נדרשת הכשרה אקדמית, וההכשרה המתקיימת בבסמ"ח מספקת.

- אנליסטים - מקצוע יסוד שיועבר למתגייסים החל משנת 2019. למקצוע יש ביקוש אדיר בשוק האזרחי, שכן מדובר על יכולות אנליטיקה פשוטות יחסית הממצות את מאגרי העתק, לפני שאלות מחקר מורכבות מבוססות על בינה מלאכותית. ההמלצה היא להגדיל את תקינת המקצוע מ-0 ל-500 תקנים. יש להדגיש כי לטובת מקצוע ה-Data Analyst לא נדרשת הכשרה אקדמית, וההכשרה המתקיימת בבסמ"ח מספקת.
- מתייגים - צה"ל שותף בפרויקט ייחודי ("רואים רחוק") להכשרת נוער על הספקטרום למקצועות התיוג. עם סיום ההכשרה הם מוצבים בגופים ייעודיים לתיוג נתונים ופענוח תצלומים בצה"ל. לאחר שירות של כשנתיים הם משתלבים בשוק העבודה עם הניסיון שצברו. ההמלצה היא להגדיל את כמות המתגייסים מבודדים לכ-200.
- מעבר להכשרה, יש לעודד ולקדם תהליך מעבריות בין הגופים. תהליך זה משרת העברת ידע בין ארגונים, העמקת שיתופי פעולה, יצירת אתגר מתמשך לפרט.
- כדי להתחרות בשכר הגבוה שמוצע בשוק האזרחי, ולייצר פירמידה של שרשרת פיקוד במקצועות הדאטה, יש לקדם תוכניות ייחודיות לשימור הון אנושי, להקציב תקציביים משמעותיים להשאר המצוינים במערכת הביטחונית, תוכניות מחקר מתקדם ודוקטורטים, מעבריות לתעשייה ואקדמיה המתאפשר בתוכנית "קפסולה" למשל.
- הכשרת מפקדים, מנהלים בכירים ומשתמשי קצה הינה הכרחית להכנת התרבות הארגונית בגופים הקולטים את הטכנולוגיה. מומלץ לשלב מערכי שיעור בכל הכשרות היסוד והפיקוד השונות. בדומה לתוכנית המתקיימת בפילנד לכלל תושבי המדינה.
- בהמשך לכך, אפשר להוסיף כלים נוספים להכשרות גנריות לשתי המערכות הביטחונית והאזרחית - פלטפורמת הנגשת ידע ו-MOOC-ים.

6. סיכום המלצות

לסיכום, להלן תמצית המלצותינו לקידום האקו-סיסטם הבטחוני:

חיזוק הקהילה ושיתופי הפעולה

1. **הקמת תשתית מחשוב מעצמתית (Hyper Scale; בהקשר זה המעצמות הן אמזון, מיקרוסופט ועוד), בעדיפות בדמות ענן ציבורי-פרטי כחלק ממאמץ לאומי להקמת אזור ענן ציבורי בארץ, משותפת לכלל גופי הביטחון, אשר מתקיימת בה האפשרות לעבד מידע מסוג תוך שימוש בשירותים מובנים בענן שמקצרים משמעותית את תהליך הפיתוח. העלות המוערכת הינה כ-2 מיליארד דולר ל-5 השנים הבאות.**
2. הקמת מרחב עבודה משותף (דמוי קאגל) עבור קהילת המפתחים הביטחוניים (גופי הביטחון, התעשייה והאקדמיה), הכולל דאטסטים מתוייגים, שאלות מחקר ואתגרים, קוד פתוח לפתרונם. העלות המוערכת ל-5 שנים הינה 75 מיליון ש"ח (בהיתן הקמת התשתית שבסעיף 1. לעיל).
3. הקמת סביבת ניסויים פיזית, בעיקר ליכולות אוטונומיות. מרחב בו יבוצעו ניסויים ואימונים באופן שוטף (להבדיל מתרגילים, שהם "חד פעמיים"). לצד מעבדה תפיסתית אשר תקדם חשיבה מערכתית על זרועית ועל ארגונית לשילובה של הבינה המלאכותית לקידום הביטחון הלאומי של ישראל. שני גופים אלו, יוכפפו למנהלת מפא"תית וינהל עבורם תקציב בהיקף של מאות מיליוני ש"ח.
4. הקמת גוף מעצב מדיניות ומשילות בתחום המידע לכלל הגופים, מתפקידו בין השאר לנהל את מרחב העבודה לקהילה, לעסוק בסוגיות של משילות מידע ומדיניות, סטנדרטיזציה של מידע, בקרה על אתיקה של אלגוריתמיקה. בנוסף על כך, תחת אחריותו של הגוף יהיה מרכז מצויינות שיהווה מוקד ידע לאומי לתחומי האלגוריתמיקה של מדעי הנתונים, וילווה

את כלל גופי הביטחון. הגוף יוקם תחת ה-CDO הצה"לי (ר' אגף התקשוב וההגנה בסב"ר) בהיקף של ענפים ותקציב לטובת משימות אלו.

5. קיום ועדת היגוי משותפת לגופי הביטחון והממשלה, לקידום שיתופי פעולה מכלל הסוגים.

חיזוק עוצמת מדינת ישראל הנגזרת מגופי הביטחון

6. **יש להגדיל משמעותית את היקף ואיכות כ"א שעוסק בנושא בצה"ל (ב-1500 אנשים) אשר יהוו מכפיל כח בטחוני בשנים הבאות, זאת נוכח זיהוי תרומתו הישירה של עולם תוכן זה לקטלניותו ועוצמתו של צה"ל, ואשר ישתלבו בהמשך באקו-סיסטם הלאומי עם יכולות וניסיון רבים ויעצימו אותו.**
7. שינוי מערכת היחסית בין מערכת הביטחון וצה"ל בפרט למערכת האזרחית (תעשייה, אקדמיה וכו') ע"י העמקת שיתופי הפעולה עם התעשיות והאקדמיה בישראל, באמצעות יצירת ערוצי התקשרות זריזים, סבסוד ממשלתי להתקשרויות אלו, בילמוס נתונים לצרכי מחקר, התאמת מודלי העבודה לצרכים בטחוניים מסווגים ועוד.
8. העמקת שיתופי הפעולה הבטחוניים הבינלאומיים (G2G) למינוף הדדי של יכולות ייחודיות בתחום הביטחון ואשר בעלות פוטנציאל גבוה ליצירת הכנסה בתמורה.

7. מקורות

<https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/executive-order-maintaining-american-leadership-artificial-intelligence/>

<https://media.defense.gov/2019/Feb/12/2002088963/-1/-1/1/SUMMARY-OF-DOD-AI-STRATEG>

[בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה, מוסד שמואל מ=נאמן](#)

[אסטרטגיה בעידן הבינה המלאכותית, דוד שורש](#)

[והרי התחזית: צהל בדרך לצבא תבוני, נורית כהן אינגר וגל קמינקא](#)

15. דוח צוות המשנה של המיזם הלאומי

למערכות נבונות בנושא פינטק

בראשות פרופ' דני צידון

2. המחסור

2.1 מרכיבי המחסור

בבינה מלאכותית, הפיתוח, היצור, וגם השימוש נשענים על אנשים ("הון אנושי"), על מכונות ("תשתית מחשוב"), ועל נתונים ("דאטה"). תחושת הצוות היתה שהמחסור בישראל קיים בכל אחד משלושת התחומים אבל שהתחומים בהם ניתן לעשות יותר בעזרת פחות עבודה ופחות תקציב, כמו גם התחומים בהם קשה יותר לשוק להגיע לפתרון יעיל בעצמו, הן תשתית ההון האנושי ותשתית הנתונים. לכן, בתחומים אלו יש חשיבות רבה יותר להתערבות.

המחסור אינו מחסור במו"פ בלבד. מאחר ובתחום זה קשה להגיע לחזית המדע והטכנולוגיה ללא היזון חוזר מהעולם ("השוק"), לא נכון להוליך את תחום הבינה המלאכותית על בסיס פתוח המו"פ בלבד. בתחום הבינה המלאכותית, הרוצה להביא את מדינת ישראל לחזית, צריך להגביר גם את המו"פ וגם את השימושים בתוצריו. לאמירה זו יש משמעות חשובה בהקצאת המשאבים הן בתחום ה"אנשים" והן בתחום ה"דאטה". בשני תחומים אלו התקדמות יעילה צריכה לכלול הקצאת משאבים הן לפיתוח והן ליצור.

2.2 עוצמת המחסור

הגדרה כמותית של המחסור היא משנית בחשיבותה. השאלה אם חסרים אלפים של מפתחים ואלפים רבים של משתמשים מיומנים, או עשרות אלפי מפתחים ומשתמשים תקבל את תשובתה מהמציאות כפי שתראה בעוד יותר מחמש שנים ולכן מיותר להקדיש משאבים לבחינתה. המחסור הוא גדול בתחום ההון האנושי ובתחום הדאטה והפער מהמובילות העולמיות (חברות ומדינות) גדול וגדל. תהליך סגירת הפער והגעה לחזית הידע העולמי הוא תהליך של שנים ארוכות שבמהלכן המספרים החסרים סביר שיתבררו מעצמם או שיתבררו על דרך מחקר מלווה לתהליך.

2.3 המחסור ביכולות בתחום הבינה המלאכותית בעולמות הפינטק

2.3.1 בעולמות הטכנולוגיה הפיננסית (פינטק), השימוש בבינה מלאכותית נמצא בכל מקום ובכל תת-תחום. הוא מקיף את יחסי ספק-לקוח הקצה (למשל גיוס לקוחות ושימור לקוחות), יעילות והתייעלות בתהליכי הייצור (למשל RPA), ניהול סיכון בהשקעות סחירות ובלתי סחירות (investments), ניהול סיכונים אשראי סחיר ולא סחיר (credit), ניהול סיכונים ביטוח אלמנטרי וביטוח חיים כמו גם ניהול יעיל של סיכון תוחלת החיים והבריאות לאורך החיים (longevity insurance).

2.3.2 לפינטק, כלמערכת הפיננסית כולה, זכות קיום מוגבלת כשלעצמו. רוב שימושי הפינטק קיימים כמאפשרים של צרכים לא פיננסיים. אנשים רוצים לחיות טוב ובריא ולכן יעשו ביטוחי חיים ובריאות (Insure-tech) ויחסכו חסכון לטווח ארוך (-wealth tech), חברות רוצות להמשיך לפעול לאחר אירוע של שריפה ולכן יבטחו עצמן (insure-tech), אנשים רוצים לקנות מכונית או דירה ולכך נדרשת הלוואה (משכנתא). אחרים קנו מוצר ורוצים פשוט לשלם עבורו תוך חסכון בזמן ובעלויות (payments).

לעובדה שהשימוש בטכנולוגיה הפיננסית נגזר מרצונות וצרכים שאינם פיננסיים יש משמעות בעת הבניית ההתערבות לקידום התחום. קידום הבינה המלאכותית בתחום הפינטק נסמך במידה רבה על קידום אותם תחומים משיקים כגון רפואה, אורבנציה (העיר החכמה), ודומיהם. לכן למרות היות הצוות "צוות פינטק" הוא לא ממליץ לבחור בפינטק כתחום מרכזי שבו יושקעו עיקר המשאבים. תובנה זו חשובה דווקא על רקע ההצלחות שיש לפינטק הישראלי בעשור האחרון. שימוש אינטנסיבי מדי בהצלחות הקיימות תוך הצטמצמות לתחומים בהם היו ההצלחות, "מינוף ההצלחות הקיימות" סביר שיפגישו את התחום עם תקרת זכויות מהר יחסית ובטרם הגיע התחום למקום בו הוא הפך לדומיננטי בכלכלה או דומיננטי עבור הכלכלה.

2.3.3 לישראל עוצמה יחסית בשימוש בבינה מלאכותית לצורך צמצום יכולת הזיוף (anti-fraud). יכולת זו באה לידי בטוי בעולמות הפינטק העוסקים בתחום ספציפי זה ובתחומים המשיקים לו והנופלים תחת כותרת המשנה של ה-Regtech (regulatory technology) ובפרט בתתי התחומים העוסקים בטיפול באיסור הלבנת הון (AML) ובהכרת הלקוח (KYC). כמובן שיכולת זו באה לידי ביטוי גם בנקודות המפגש הרבות שבין אבטחת הסייבר והטכנולוגיה הפיננסית.

הטכנולוגיה, המדע, והנתונים שעל בסיסם נבנו יכולות ה-anti-fraud וה-Regtech הם גם אבני היסוד לתחומים רבים נוספים בפינטק. מכאן שהתמקדות בקידום תת תחום יחיד (גם אם מרכזי) בתוך עולמות הפינטק תסיט משאבים מתחומים קרובים ולכן עלולה להסתבר כהתערבות פחות יעילה. אי לכך נראה היה למרבית חברי הצוות שהתערבות בעולמות הפינטק לא צריכה להתמקד (לבחור) תת תחום אלא להרחיב הן את הצע הפתרונות והן את הביקוש לפתרונות מבלי לתעדף סוגיות בתוך עולם

הצוות שעסק בתחום הפינטק גובש מאוחר וקיים מספר ישיבות מצוצמם ובהרכבים חלקיים. אי לכך דוח זה משקף הן את שנאמר בדיונים והן את התפיסה שהתגבשה אצל פרופ' צידון כמרכז עבודת הצוות בעקבות הדיונים. משכך, מסמך זה מהווה אך ורק את האופן בו פרופ' צידון רואה את מסקנות הצוות.

להלן עיקרי הדברים:

1. המטרה

קיימת הסכמה גורפת בצוות שהמטרה שהוצבה – הבאת מדינת ישראל לקדמת המדינות בתחום הבינה המלאכותית היא מטרה ראויה וחשובה, דורשת משאבים רבים ותאום בין גורמים רבים בממשלה, באקדמיה, בתעשייה, בשירותים הציבוריים והפרטיים ועוד. תחושת הצוות היתה שאכן הולך ונצבר פיגור בתחום זה אל מול המדינות המובילות. ראוי לציין שלמרות שבצוות חברים כלכלנים לא מעטים לא ניכרה בו התחושה כאילו "השוק יעשה את שלו" ולכן אין צורך בהתערבות.

הערות להגדרת המטרה:

א. טובה הגדרה מצמצמת מהגדרה רחבה. הובלת המדינה לחזית הבינלאומית בתחום הבינה המלאכותית תועיל למדינה גם אם לא תפתור את בעיותיה הרבות האחרות. לדעת הצוות, אין לחבר מטרה זו ליעדים אחרים כגון קידום הבריאות, קידום הפריכריה, וכדומה. במקרים בהם קיימת סינרגיה חיובית חזקה וברורה בין היעדים כמובן שניתן לנצלם, כפי שעלה לא פעם בדיונים בעיקר בהקשר של ה"בריאות הדיגיטלית" אולם הצעות לקידום התחום צריך שיגזרו מהמטרה של קידום התחום ומממטרה זו בלבד.

ב. כללי המשחק השתנו ובחלק מהמקרים התחרות על הקידמה אינה מול מדינות אחרות אלא דווקא מול חברות ענק רב לאומיות. לעובדה זו יש השלכות על מרחב הפתרונות כי חברות אלו פועלות בתחומים אלו גם בישראל. בין היתר נדרש לקבל החלטות על המידה בה חברות הענק הרב לאומיות העוסקות בתחום הן שותפות לתהליך ועל המידה בה הן מתחרות בתהליך. פן נוסף שהשתנה בכללי המשחק הוא המתח המתעצם בין סין לארה"ב בתחום הבינה המלאכותית. מדיניות מתערבת צריכה לקחת בחשבון מתח זה ולהמנע מלהשען על צד אחד או להטות את התוצרים לכיוון אחד מהצדדים.

ג. גם הגדרת ה"מדינה" היא מורכבת. מדינות לא מעטות מקדמות את עצמן בתחום הבינה המלאכותית בעזרת מתן תמריצים ליבוא של טכנולוגיות ותמריצים להגירה של כוח אדם מיומן (הון אנושי) אליהן. בפרט, תמריצים ליבוא כוח אדם מישראל וחברות ישראליות העוסקות בתחום, כפי שכבר קיים (ראו דוגמת סינגפור), או כפי שמתגבש במספר מדינות (כגון קנדה), מהווים גם הם מגבלה על יכולת התמרון של מדיניות ישראלית מעצימה בתחום הבינה המלאכותית.

השלכות פעילותן של חברות הענק בתחום, כמו גם פעילותן התחרותית של מדינות אחרות בתחום אינן באות בכדי להקטין בחשיבותו של הפרוייקט אלא דווקא בכדי להגדיל בחשיבותו תוך הדגשת המורכבות של התהליך.

הפינטק. את מלאכת התעדוף יש להשאיר לשוק עצמו.

2.3.4 הפינטק בישראל הוא משתמש ותיק ואינטנסיבי בבינה מלאכותית. בכך הוא מוביל על פני התעשייה הפיננסית בישראל ונמצא בחזית העולמית בתחום זה. עובדה זו בנויה על מערכת תומכת חזקה ומאורגנת. הסביבה (ecosystem) של הפינטק הישראלי היא רבת פנים, חזקה, ובוגרת בשנים. אי לכך המאמץ בתחום הפינטק צריך להתמקד בשיפור תשתיות הבינה המלאכותית. בהנתן שיפור תשתיות בתחום הבינה המלאכותית המערכת הקיימת (ecosystem) תזניק את התחום עצמו, תחום הפינטק, רחוק לפנים.

3. השיפורים הנדרשים ביסודות הבינה מלאכותית בפינטק

עיקרם של הדברים הנוגעים לפינטק אינם שונים מהנושאים שעלו בקבוצות עבודה אחרות.

3.1 השיפור הנדרש בהון אנושי

בתחום ההון האנושי המטרה היא הפעלה יעילה של כוח העבודה הקיים להגשמת המטרה. קרי, גם אם נכון לשנות ולשפר את מערכת החינוך על כל שלביה, הרוצה להגיע לחזית בתחום הבינה המלאכותית תוך מספר שנים חייב להתמקד בשינויים הנדרשים בכוח העבודה הקיים.

שינויים אלו חייבים לבוא הן בצד ההיצע של יכולות הבינה המלאכותית והן בצד הביקוש לתוצריה. קרי, הן בתחום המחקר הבסיסי והן בתחום יצור הממשק בין יכולות הבינה המלאכותית וכלכלת השוק. בכדי שזה יקרה מנהלים ועובדים צריכים ללמוד מה בינה מלאכותית יכולה לספק להם וללמוד להגדיר ולבקש את זה.

בתחום המחקר הבסיסי אין לפינטק ייחוד אל מול תחומים אחרים (וזה כמובן לא מפחית מחשיבות הנושא).

בתחום היצור של הממשק בין בינה מלאכותית למגזר הפיננסי מצאנו שחשוב לקדם את המערכת משני צדדיה. מודלים אינם נוצרים מעצמם ומכונות לומדות אינן בוחרות נושאים. הדרך לקפיצת מדרגה עוברת דרך הפגשת היכולות עם הצרכים. המטרה היא שהמודלים שייכתבו והפתרונות שימצאו יהיו במתחם הבעיות שלהן ערך גבוה יותר. לשם כך צריך להבנות מנגנון להיזון חוזר בין מנהלים עסקיים ועובדים בכירים לבין יצרני הפתרונות. מנגנון כזה ראוי שיכלול מסגרות לימוד בטר אוניברסיטאיות. לימוד בקבוצות מגוונות הכוללות מפתחים ומנהלי עסקים של מגוון הפתרונות האפשריים תוך מתן דגש לסדנאות ומעבדות העוסקות בשאלות אמיתיות (גם אם ברור שהפתרונות לא יהיו מוכנים ליצור) נראה כדרך הלמידה המועדפת. דרכים אחרות בהחלט יכולות להחליף או להשלים מנגנון כזה.

בנוסף, מערכת ההשכלה הגבוהה חייבת להתאים את עצמה למשימה. התאמה זו חשובה בעיקר בפקולטות ובתי הספר בהן הבינה המלאכותית אינה המקצוע המרכזי (כלכלה, פסיכולוגיה, מנהע"ס, חשבונאות וכו'). נראה שממש כפי ששפה זרה (אנגלית) ברמה סבירה היתה תנאי חובה לקבלת תואר במקצועות רבים כך גם רמה סבירה של הבנה בתחומי הבינה המלאכותית וידע בשימוש בכמיות מידע גדולות (big data) צריך להפוך לדרישת חובה ברוב תחומי הלימוד לתואר אקדמי.

הפינטק הוא תחום רחב. אי לכך עולה השאלה האם במסגרת הקצאת המשאבים הנגזרת מהמשימה הלאומית צריך ליצור מסגרות חינוך שונות או מקבילות לתתי ענפיו (לדוגמא: מסגרות שונות לביטוח לבנקאות ולניהול השקעות). לדעת רוב הצוות, נסיון להכווין את המשימה לגזרות אינו יעיל. ביצור תובנות ראויות לשימוש, המשותף רב על השונה בין אם עוסקים באופן בו נבנה ביטוח לאחרית חיי הפרט ובין אם בונים את החלטת העסק הקטן לעניין תזרים מזומניו והביקוש שלו לאשראי. ניסיון להבנות פתרונות תוך תמיכה בתתי תחומים, גם אם נראה מראש כיעיל הרי שיוכח כלא יעיל בהנתן אי הוודאות הגבוהה הטמונה בתהליך כולו.

3.2 השיפורים הנדרשים בעולם הנתונים

בטרם נכנס לתחום כדאי להגדיר לתחום זה מטרה משנית שלדעתנו יכולה להיות מטרה משנית לנושא הדאטה ברוב תתי התחומים בהם עוסק המיזם (גם אם לא בכלום). המטרה צריכה להיות שארגון הדאטה וזמינותו צריכים להיות טובים מספיק כדי שחברות רב-לאומיות מובילות ירצו להשתמש בדאטה הישראלי כמעבדה לבניית המודלים שלהם עבור העולם הרחב.

גם אם בסופו של תהליך יוטלו מגבלות שימוש הנובעות ממגבלות הצע, נדע שהמדינה עשתה את הנדרש אם וכאשר תור של משתמשים יתדפק על דלתות המיידע בארץ.

בדיוני הצוות המתכלל הוצע להקל על ניהול המידע בדרך של בנית מספר מרכזי נתונים הצמודים למספר אוניברסיטאות. קרי, מאגר לנתוני בריאות בצמוד לאוניברסיטה אחת ומאגר לנתוני העיר החכמה בצמוד לאוניברסיטה אחרת. חשוב להדגיש כי הפינטק צריך גישה אחודה או לפחות נתיב גישה מרכזי לכל המרכזים. המערכת הפיננסית נותנת שירותים לצרכנים. משמעות הגעה לחזית ביכולות הבינה המלאכותית היא בין היתר היכולת לחבר בין רצונות האדם (הצרכן) ליכולותיו, כגון ליכולותו להתפרנס (נתונים פיננסים) וליכולותו לנוע ("עיר חכמה"), לבריאותו, ולאורח ומשך הצפוי של חייו. נראה כי בכדי לתרום לשינוי מהותי בשימוש בבינה מלאכותית לצרכי הפינטק חייב להווצר הגשר בין המרכזים השונים. ניסיון לבנות תשתית נתונים פיננסית הוא בבחינת מבט במראה המופנית לאחור.

הכרחי ומרכזי להבאת הקידמה בתחום הבינה המלאכותית בתחום הפינטק הוא מתן התייחסות מפורטת לפרטיות. בכדי שהקידמה לא תתברר כהליכה לאחור נדרשת כאן תשומת לב חוקית ורגולטורית רבה. בהקשר זה חשוב לציין כי קיימות היום טכנולוגיות המאפשרות שימוש בנתונים מבלי לוותר על הצפנתם. גם אם טכנולוגיות אלו טרם הגיעו לבשלות הרי שמי שרוצה לקדם את ישראל בתחום הבינה המלאכותית תוך כדי זה שהוא ממשיך לכבד את פרטיות האדם חייב לתת את הדעת למקום אליו צועדת הטכנולוגיה המאפשרת עיבוד נתונים מוצפנים או עיבוד נתונים סינטטיים. מתן תשומת לב תקציבית ארגונית ומשפטית לטכנולוגיות כאלו יכול לעזור למיתון המתח שבין קדמה לפרטיות. לעניין זה המערכת המשפטית והרגולטורית צריכה להגדיר מחדש מהם "נתונים" ומהי "פרטיות". נראה כי ההגדרות הקיימות אינן מתארות נכון את המציאות כפי שהטכנולוגיה בונה אותה מחדש.

נושא הנגשת הנתונים אינו נושא טכני. קל יחסית לבנות, על בסיס הטכנולוגיה הקיימת, מצבורי נתונים. קשה מאוד לקבוע למי, למה וכמה תהיה גישה אל הנתונים. בניית מערכת שתפקידה גם לנהל את המידע הקיים וגם לגרום להנגשתו לחוקרים אקדמיים ולתעשייה היא הכרח מהמעלה הראשונה. בנייה כזו חייבת להיות מלווה בשינוי חקיקה ובשינוי רגולטורי. החוק והרגולציה צריכים למצוא את האיזון שבין השימוש בנתונים לצורך בניית עתיד טוב יותר לבין דרישות כגון פרטיות וצדק. המערכת צריכה לבנות דרך יעילה שיודעת לספק תשובות בטווח קצר עד מידי לשאלות כגון האם ניתן להשתמש בנתוניהם האישיים של קבוצת חולים כדי לבנות ביטוח בריאות או ביטוח חיים אפקטיבי יותר. ללא פתרון מבני העומד בדרישות החוק לא כדאי להקדיש משאבים תקציביים לבניית מצבורי נתונים. מצבורים אלו ישארו כאבן שאין לה הופכין אם לא יקבעו כללים ברורים לשימוש בהם וכללים ברורים לאישור חריגים שסביר שיהיו רבים. אחזור ואדגיש שהטכנולוגיות המאפשרות עיבוד נתונים מוצפנים יכולות להוות גשר, לפחות לתקופת ביניים ולשימושים מסויימים בעוד המשימה החקיקתית – רגולטורית מתבצעת.

מבלי לנסות ולצפות את הצרכים העתידיים ברור כבר על סמך ההווה שהפינטק צריך חיבור למרכזי המידע השונים (נתוני בריאות, נתוני תנועה ונתוני "ערים חכמות" אחרים, מידע פיננסי, וכנראה גם מידע בטחוני). עובדה זו יחד עם הצורך לשמר רמת פרטיות סבירה הופכות את תהליך הנגשת המידע למורכב. חשוב לציין שבמערכת החוקית – רגולטורית של ימינו תהליך כזה לא יכול לקבל גיבוי.

3.3 שיפורים ביכולת המחשוב

הצוות לא עסק בנושא זה.

רשימת משתתפי המיזם

מפקד החטיבה לטרנספורמציה דיגיטלית באגף התקשוב, צה"ל	תא"ל עומר דגן ראש צוות המשנה ביטחון
סגן הממונה על התקציבים, משרד האוצר	אסף וסרצוג
יו"ר הות"ת	פרופ' יפה זילברשץ
מערך הסייבר הלאומי	הודי זק ראש צוות המשנה סייבר ומערכות נבונות
ראש היחידה לתשתיות טכנולוגיות, מפא"ת	ד"ר נדב כהן
הטכניון	תא"ל (מיל.) פרופ' יעקב נגל
המרכז הבינתחומי הרצליה ונשיאת איגוד האינטרנט הישראלי	פרופ' קרין נהון ראש צוות המשנה אתיקה ורגולציה
יועץ אסטרטגי בכיר, א.ס. בינות בע"מ	אל"מ (במיל.) ד"ר ארז סברדלוב ראש צוות המשנה תחבורה
רכז תעשייה, מסחר והשכלה גבוהה, אגף תקציבים	עידו סופר
לשעבר ראש רשות התקשוב במשרד רה"מ	יאיר פרנק
קרן וילה פיינטק	פרופ' דני צידון ראש צוות המשנה פיינטק
CEO SNC האוניברסיטה העברית	פרופ' יוג'ין קנדל
ראש מו"פ, מפא"ת	תא"ל יניב רותם
Ment.io	יואב רוזנברג ראש צוות המשנה בינה מבוזרת
מנהלת מטה ישראל דיגיטלית, המשרד לשוויון חברתי	שי-לי שפיגלמן
סמנכ"לית בכירה מדיניות, מערך הסייבר הלאומי, משרד רה"מ	שני שרביט ראש צוות המשנה ממשל

תפקיד	שם	שיוך ארגוני
יו"ר המיזם	פרופ' יצחק בן ישראל	בי"ס למדע המדינה, ממשל ויחסים בינ"ל אוניברסיטת תל אביב
יו"ר המיזם	פרופ' אביתר מתניה	בי"ס למדע המדינה, ממשל ויחסים בינ"ל אוניברסיטת תל אביב
מרכזת המיזם	ליהיא פרידמן	התכנית ללימודי ביטחון, אוניברסיטת תל אביב בי"ס לאודר לממשל, דיפלומטיה ואסטרטגיה, המרכז הבינתחומי הרצליה
משתתפי ישיבות הכורום המתכלל (לפי סדר הא"ב)		
מולי אדן	חבר נאמנים, אוניברסיטת חיפה	
ד"ר אהרון אהרון	מנכ"ל רשות החדשנות	
פרופ' שמעון אולמן	יו"ר תל"ם מכון ויצמן	
יגאל אונא	מנכ"ל מערך הסייבר הלאומי	
דב אוסטר	רמ"ח אופטרוניקה, מפא"ת	
ראש צוות המשנה IoT וסנסורים		
ד"ר עמי אפלבוים	המדען הראשי, משרד הכלכלה ראש רשות החדשנות	
ראש צוות המשנה קשרי אקדמיה ותעשייה		
תא"ל (מיל.) פרופ' קובי בורטמן	אוניברסיטת בן-גוריון	
ראש צוות המשנה מערכות רובוטיות ואוטונומיות		
פרופ' דן בלומברג	סגן נשיא לפיתוח אזורי ותעשיית, אוניברסיטת בן-גוריון	
ראש צוות המשנה מרכזי מחקר אקדמיים		
פרופ' עירד בן גל	אוניברסיטת תל אביב	
ד"ר חדוה בר	המפקחת על הבנקים, בנק ישראל	
רן בר	מנכ"ל משרד המדע והטכנולוגיה	
פרופ' גבי ברבש	מכון ויצמן	
ראש צוות המשנה בריאות ורפואה		
ד"ר ארנה ברי	פנסיונרית	
ראש צוות המשנה כח מחשוב וקוונטים	בעבר: יזמת, מדענית ומנהלת בכירה בתעשיות עתירות ידע	
תא"ל (מיל.) ד"ר דני גולד	ראש מפא"ת	
ד"ר משה גולדברג	לשעבר ראש היחידה לתשתיות טכנולוגיות, מפא"ת	
פרופ' אמיר גלברזון	אוניברסיטת תל אביב	
ראש צוות המשנה טכנולוגיות בינה מלאכותית ומדעי הנתונים		

להלן שמות משתתפי המיזם במסגרת צוותי המשנה כפי שהועברו אלינו מראשי הצוותים, מסודרים לפי סדר הא"ב. ככל שנכללו טעויות או חוסרים, אנו מתנצלים, טעות לעולם חוזרת.

1. חברי צוות המשנה לטכנולוגיות בינה מלאכותית ומדע הנתונים

תפקיד	שם	שיוך ארגוני
ראש הצוות חברי הצוות	כרופ' אמיר גלברזון	אוניברסיטת תל אביב
	ד"ר נפתלי אבודרהם	
	יואב אבנשטיין	נציג ישראל ל-IA, ארגון התקינה הבינלאומי
	רעות אבנשטיין	
	אניה אלדן	מנהלת זירת הזנק ברשות החדשנות
	סא"ל רועי אליעזר	אמ"ן
	ד"ר הראל בדיחי	מנהל המו"פ והפיתוח העסקי, מערכות מוטסות, אלתא - תעשייה אווירית
	אביקם בלצן	Co-President, Chief Technology Officer, Orbograph
	דרור בן דוד	ראש תחום רשתות נזירונים מלאכותיות, מטריקס
	פרופ' יעקב גולדברגר	אוניברסיטת בר-אילן
	בני גולדמן	ראש מנהל חטיבת יבשה/תקש"ב, אלביט
	יניב גלעד	רפאל
	פרופ' שרון גנות	אוניברסיטת בר-אילן
	פרופ' חייט גרינשפן	אוניברסיטת תל אביב
	שי דן	אמ"ן
	ניב דקל	
	ד"ר יניב הראל	General Manager Cyber Solutions Group, DELL EMC
	סא"ל חן וייץ	רע"ן שו"ב, מפא"ת
	ד"ר יעל וילה	מנכ"לית פסיפס, רשות החדשנות
	אפי ויצרין	CTO, TEMI
	עדי זיסהולץ	סמנכ"ל מו"פ חטיבת יבשה/תקש"ב, אלביט
	חיים זלוטוקרילוב	מערך הסייבר הלאומי
	פרופ' רמי חג'ו	CEO, LIFETOBOT
	רס"ן ספי כהן	לוט"ם
	עופר ליבנה	כלי טייס/מנהל תכנית, אלביט
	עין ליכטנשטיין	מערך הסייבר הלאומי
	ענת לייקין	רפאל
	יובל מזור	Senior Deep Learning Solution Architect and data scientist, Nvidia Israel
	פרופ' יוסי מטיאס	אוניברסיטת תל אביב, וסגן נשיא הנדסה, גוגל
	ד"ר נילי מנדלבלית	רשות החדשנות – ISERD
ויקטור מקרנקוב	אמ"ן	
איילת משיח	ראש מנהל, כלי טייס, אלביט	
ענבר נאור	מנכ"ל, Hack Data	

ד"ר אלון סטופל	סמנכ"ל מדען ראשי, אלביט
יוני סיני	סמנכ"ל, CTO חטיבת מודיעין, אלביט
אסף עראקי	אינטל
אמיתי ערמון	Chief Data Scientist, אינטל
חן פיטוסי	מובילת המוצר של ה-CORTANA, Microsoft
ליאור פינסלר	רמ"ח תקשוב, מפא"ת
מיכאל פינק	Google Israel
שי פלצי	מנכ"ל, Data Hack
חמי פקר	Director Advanced Technology; CTO, Israel Innovation Center, Motorola Solutions
ד"ר אבנר פריאל	מערכות קוגניטיביות, אלביט פקולטה להנדסה, אוניברסיטת ת"א
פרופ' גל צ'צ'יק	אוניברסיטת בר-אילן, Nvidia Israel
רינת קורבט	מאקרו אנליסטית, SNC
אביחי קרפל	אמ"ן
ד"ר יוסי קשת	אוניברסיטת בר-אילן
יואב רוזנברג	Ment.io
פרופ' ליאור רוקח	אוניברסיטת בן-גוריון
אל"מ גיל רימון	אמ"ן
יעקב רימר	יועץ למפא"ת
פרופ' אסף שוסטר	הטכניון
רס"ן יואב שחם	אמ"ן
יניב שמואלי	פייסבוק
צחי שנרך	מנהל המערך הטכנולוגי וענפי השוק, רשות החדשנות
פרופ' ברכה שפירא	אוניברסיטת בן-גוריון
אמיר שפר	ראש תחום תוכנה, כלי טיס, אלביט

2. חברי צוות המשנה למערכות רובוטיות ואוטונומיות

צוות אקדמיה		
מזכיר הצוות	פרופ' אמיר שפירא	אוניברסיטת בן-גוריון
חברי הצוות	נעה אגמון	מרצה בכירה, אוניברסיטת בר-אילן
	פרופ' יעל אידן	אוניברסיטת בן-גוריון
	פרופ' ואדים אינדלמן	הטכניון
	ליאון אלטרץ	ראש תחום מערכות רובוטיות, חט"ל
	ד"ר הראל בדיחי	מנהל המו"פ והפיתוח העסקי, מערכות מוטסות, אלתא - תעשייה אווירית
	פרופ' רונן ברפמן	אוניברסיטת בן-גוריון
	פרופ' הוגו גוטרמן	אוניברסיטת בן-גוריון
	פרופ' דן הלפרין	אוניברסיטת בן-גוריון
	פרופ' דני הנדלר	סגן ראש מרכז הסייבר, אוניברסיטת בן-גוריון
	ולדימיר וקולין	רמ"ד רובוטיקה, חט"ל
	פרופ' אפי זהבי	אוניברסיטת בר-אילן
	דן חכים	כלי טיס/מנהל תוכנית, אלביט
	דורון חבצלת	רמ"ח מתוק"ה, מפא"ת
	איילת משיח	ראש מנהל, כלי טיס, אלביט
	פרופ' דן פלדמן	אוניברסיטת חיפה
מיכאל קושלביץ	רמ"ד מזל"ט, מפא"ת	
פרופ' גל קמינקא	אוניברסיטת בר-אילן	
פרופ' אילון רימון	הטכניון	
פרופ' שרגא שובל	דיקן הנדסה, אוניברסיטת אריאל	
פרופ' צבי שילר	אוניברסיטת אריאל	
צוות תעשייה אזרחית וחברות הזנק		
מזכיר הצוות	ד"ר יהודה אלמליח	קוגניטים
חברי הצוות	אירית אבני	מנהלת פרויקטים, SNC
	יובל אנגלשטיין	אנליסט, SNC
	ד"ר אלון סטופל	סמנכ"ל מדען ראשי, אלביט
	עופר בורין	TSG
	חגי בלשאי	מנכ"ל רובוטיקאן
	ארז דינר	ראש תחום טכנולוגיות אלקטרואופטיות, מפא"ת
	מיכל ורמוט	סגנית לשפ"ע, המרכז לחדשנות, רפאל
	שוקי יהודה	CTO, אלביט
	יותם לבני	חוקר מוביל בתחום מערכות אוטונומיות, Microsoft
	חיים ליטבק	מערך הסייבר הלאומי
	מנחם לנדאו	רע"ן כטב"ם וקונספטים, מפא"ת
	ד"ר נילי מנדלבלית	רשות החדשנות
	גד מרגי	מערך הסייבר הלאומי
	אריה רייבי	יבשה/CTO, אלביט
	גלעד שרוני	CTO, TSG

תפקיד	שם	שיוך ארגוני
ראש הצוות	תא"ל (מיל.) פרופ' קובי בורטמן	אוניברסיטת בן-גוריון
מזכיר הצוות	תא"ל יניב רותם	ראש מו"פ, מפא"ת
מזכיר הצוות	סא"ל ירון שריג	עוזר ראש מו"פ, מפא"ת
צוות צבא ותעשיות ביטחוניות		
מזכיר הצוות	ראין גיטי	רע"ן כרב"מ, מפא"ת
חברי הצוות	יואב אבנשטיין	נציג ישראל ל-AI, ארגון התקינה הבינלאומי
	משה אברהמי	תשתיות, רשות החדשנות
	דב אוסטר	רמ"ח אופטרוניקה, מפא"ת
	יוחאי אמסילים	חיל הים
	ינון בן צור	מל"ל
	אריאל דבורז'בסקי	חיל אוויר
	דורי דישון	רמ"ד רובוטיקה ואוטונומיה, מפא"ת
	חן וייץ	רע"ן שו"ב, מפא"ת
	סרגיי ויצ'ק	ארכיטקט מ' אוטונומיות חטיבת מו"פ והנדסה, רפאל
	מולא חאלד	רע"ן רובוטיקה והנדסה קרבית, חט"ל
	מירי כפתור	קמ"ד רובוטיקה ואוטונומיה, מפא"ת
	עופר לפיד	בודק מקצועי, רשות החדשנות
	דניאל מרקוביץ	יועץ מדור רובוטיקה, מפא"ת
	אורי קפלן	CTO, אלביט
	מאיר שבתאי	ראש מפעל רובוטיקה, תע"א
ג'ני שכטמן	81-מכאניקה-הנדסה-רובוטיקה, אמ"ן	
עידן שער	אגף חירום, ביטחון וסייבר	
עידן תבור	ראש תחום רובוטיקה, אלביט	
צוות חינוך		
מזכיר הצוות	פרופ' אלון וולף	הטכניון
חברי הצוות	אלכס איילון	חטיבת מודיעין/CTO/ מנהל מו"פ וחדשנות, אלביט
	אסף ברימר	מנכ"ל מונא
	אביב זאבי	מנהל זירת תשתית טכנולוגית, רשות החדשנות
	רועי ירום	מערך הסייבר הלאומי
	נועה מטרסו	מנהלת תכנית אקדמיה, רשות החדשנות
	איציק מלאכי	רע"ן תמונ"ה, מפא"ת
	מלכה ניר	מנהלת זירת ייצור מתקדם, רשות החדשנות
	קובי קיסר	רת"ח איסוף אווירי, אמ"ן
	פבל רובינשטיין	רמ"ד UM, אמ"ן
	נתנאל רטנר	הסגן לראייה ממוחשבת, רפאל
	צחי שמר	כלי טיס/מנהל תוכנית, אלביט

3. חברי צוות המשנה IoT וסנסורים

תפקיד	שם	שיוך ארגוני
ראש הצוות	דב אוסטר	רמ"ח אופטרוניקה, מפא"ת
מזכיר הצוות	עמירם דקל	ראש מרכז טכנולוגיות גילוי ומניעה לאומי, במכלול הטכנולוגי, מערך הסייבר הלאומי
מזכיר הצוות	שי לירז	רמ"ד טכנולוגיות CTO, מפא"ת
חברי הצוות	אירית אבני	מנהלת פרויקטים SNC
	יואב אבנשטיין	נציג ישראל ל-AI, ארגון התקינה הבינלאומי
	איילת אברהמי	מנהלת מוצרי AI, חטיבת המודיעין, אלביט
	יובל אנגלשטיין	אנליסט, SNC
	ד"ר הראל בדיחי	מנהל המו"פ והפיתוח העסקי, מערכות מוטסות, אלתא-תעשייה אווירית
	עופר בורין	TSG
	סלבה גופמן	אמ"ן
	רן גנאל	אמ"ן
	ד"ר טל דוד	ראש ענף טכנולוגיות קוונטים ואלקטרואופטיקה במשהב"ט / מפא"ת
	גדי הורנשטיין	ראש ענף IoT, רשות החדשנות
	קובי הירש	מערך הסייבר הלאומי
	גל הררי	רע"ן טכנולוגיות הדמאיות ופיסיקה, מפא"ת
	עמית זינוק	אמ"ן
	דן חכים	חטיבת מודיעין/ בינה וראייה חישובית, אלביט
	סא"ל מאור ימר	רע"ן, לוט"ם
	אלי כהן	Innovation and Collaboration Manager, מפעל מיזם באלתא
	נדב כהן	ממונה על תשתיות, אופ"ק
	אמיר לוין	רפאל
	פרופ' מרק לסט	אוניברסיטת בן-גוריון
	ירון מאירוביץ	חטיבת יבשה/תקשור"ב/R&D, אלביט
	אילן מגדל	מנכ"ל Friendly Technologies
	פרופ' אבי פאר	אוניברסיטת בר-אילן
	פרופ' אלכס פיש	פקולטה להנדסה, אוניברסיטת בר-אילן
פרופ' יוסי פלטיאל	מחלקה לפיזיקה יישומית, האוניברסיטה העברית	
דורון קפלן	מפא"ת	
אביחי קרפל	אמ"ן	
ארז רודר	חטיבת מודיעין/ ראש מנהלת המידע, אלביט	
אורן רייכמן	ראש פרויקט גלקטיקה, מפא"ת	
אופיר שבתאי	מוביל קבוצת פתרונות מיקום משולבים, אינטל	
פרופ' אסף שוסטר	הטכניון	
עידן שער	אגף חירום, ביטחון וסייבר	
גלעד שרוני	CTO, TSG לשעבר רע"ן שו"ב מפא"ת	

4. חברי צוות המשנה בינה מבוזרת

תפקיד	שם	שיוך ארגוני
ראש הצוות	יואב רוזנברג	Ment.io
מזכיר הצוות	אל"מ גיל רימון	אמ"ן
חברי הצוות	יואב אבנשטיין	אנליסט מחקר בכיר אוניברסיטת תל אביב נציג ישראל לתקינה בינלאומית של בינה מלאכותית
	עופר בורין	TSG
	שחר ברכה	מנהל חטיבת תכנון ואסטרטגיה, רשות התקשוב הממשלתי
	בני גולדמן	ר' מנהל חטיבת יבשה/תקשור"ב, אלביט
	זוהר גיא	VP R&D Ment.io
	דדי גרטלר	מערך הסייבר הלאומי
	סא"ל אילון הופמן	זרוע יבשה
	קובי הירש	מערך הסייבר הלאומי
	אורן הראל	חטיבת מודיעין/ר' תחום הנדסת מערכת מודיעין, אלביט
	חן וייץ	רע"ן שו"ב, מפא"ת
	עדי זיסהולץ	סמנכ"ל מו"פ חטיבת יבשה/תקשור"ב, אלביט
	איתן חיימוביץ'	סטודנט לתואר שני במדעי המחשב ופילוסופיה במסגרת התכנית הבין-תחומית ע"ש עדי לאוטמן באוניברסיטת תל אביב
	איתן חקק	מנהל מוצר בכיר, צ'קמרקס
	חמוטל מרידור	פלנטיר ישראל
	אסא נוה	אמ"ן
	פרופ' מיכאל סגל	אוניברסיטת בן-גוריון
	ד"ר אלון סטופל	סמנכ"ל מדען ראשי, אלביט
	דני סקר	דירקטור, ICT, רשות החדשנות/ ISERD
	ארז פיקסל	רפאל
	ד"ר אבנר פריאל	מערכות קוגניטיביות, אלביט פקולטה להנדסה, אוניברסיטת ת"א
	חמי פקר	Director Advanced Technology CTO, Israel Innovation Center, Motorola Solutions
	פרופ' אסף שוסטר	טכניון

5. חברי צוות המשנה כח מחשוב וקוונטים

תפקיד	שם	שיוך ארגוני
ראש הצוות	ד"ר ארנה ברי	פנסיונרית בעבר: יזמת, מדענית ומנהלת בכירה בתעשיות עתירות ידע
מזכיר הצוות	ד"ר טל דוד	ראש ענף טכנולוגיות קוונטים ואלקטרואופטיקה במשהב"ט / מפא"ת
קבוצת עבודה 1 – HPC וענן		
מזכיר הקבוצה	אל"מ ד"ר יוסי אברבנאל	בעל נסיון רב שנים בשימוש בחישוב על במערכת הבטחון
חברי הקבוצה	בוריס אברמוביץ	בעל נסיון רב שנים בתכנון ומימוש יכולות חישוב על במערכת הבטחון
	שלומי ארנון	
	אופיר ברוך-קרא	
	פרופ' שלומי דולב	אוניברסיטת בן-גוריון
	ד"ר יעל וילה	data scientist בכירה מנכ"לית פסיפס, רשות החדשנות
	ד"ר הוד וירצברגר	מוקד ידע לאומי בתחום ה-HPC
	אופיר זמיר	CTO NVIDIA
	ד"ר דורון נווה	אוניברסיטת בר-אילן
קבוצת עבודה 2 – אחסון וקישוריות		
חברי הקבוצה	אבנר גורן	אינטל
	שרון כהן	
	עינן ליכטרמן	מערך הסייבר הלאומי
	ד"ר יואב מדין	הטכניון מייסד Haifa 3D
	פרופ' אלכס פיש	פקולטה להנדסה, אוניברסיטת בר-אילן
קבוצת עבודה 3 – קוונטים		
מזכיר הקבוצה	ד"ר נדב כהן	ראש מחלקת אלקטרומגנטיות, פוטוניקה וטכנולוגיות קוונטים במשהב"ט / מפא"ת
חברי הקבוצה	ד"ר אייל איצקוביץ	קרן פיטנגו
	ד"ר טל דוד	ראש ענף טכנולוגיות קוונטים ואלקטרואופטיקה במשהב"ט / מפא"ת
	פרופ' נדב כץ	פיסיקאי וראש מכון המחקר לאינפורמציה קוונטית באוניברסיטה העברית
	ד"ר יהודה נוה	חברת IBM, חיפה
	פרופ' אבי פאר	פיסיקאי, וחבר מייסד של המרכז למדע וטכנולוגיה קוונטיים באוניברסיטת בר-אילן
	ד"ר רן פישר	פיסיקאי, מוקד ידע "טכנולוגיות קוונטיות אטומיות" בחברת רפאל
	חמי פקר	מוביל החדשנות בחברת Motorola Solutions

6. חברי צוות המשנה מרכזי מחקר אקדמיים

תפקיד	שם	שיוך ארגוני
ראש הצוות	פרופ' דן בלומברג	סגן נשיא לפיתוח אזורי ותעשיית, אוניברסיטת בן-גוריון
מזכיר הצוות	ד"ר יובל כהן	חה"י / מפא"ת
חברי הצוות	יואב אבנשטיין	אנליסט ICT ברמות, אוניברסיטת תל אביב יועץ פרילנס בתחום ה-AI מטעם מייקרוסופט נציג ישראל בוועדת התקינה הבינלאומית לבניה מלאכותית ISO
	פרופ' יעל אידן	רובוטיקה חקלאית, ביולוגית וקוגניטיבית, אוניברסיטת בן-גוריון
	ד"ר משה גולדברג	לשעבר ראש היחידה לתשתיות טכנולוגיות, מפא"ת
	אביב זאבי	ראש זירת תשתית טכנולוגית ברשות החדשנות
	טל ז'רסקי	משפטים, אוניברסיטת חיפה
	עינן ליכטרמן	מוביל מרכזי המחקר, מערך הסייבר הלאומי
	נועה מטרסו	מנהלת תכניות אקדמיה בזירת תשתית טכנולוגית ברשות החדשנות
	פרופ' שי מנור	ראש המרכז ללמידת מכונה ומערכות נבונות, הטכניון
	אסף עראקי	ארכיטקט ניתוח Big Data, אינטל
	אמיתי ערמון	מדען נתונים ראשי, אינטל
	ד"ר שי פיין	בית ספר אפי ארזי למדעי המחשב, המרכז הבינתחומי הרצליה
	ד"ר אבנר פריאל	מערכות קוגניטיביות, אלביט מערכות אוניברסיטת תל אביב
	לירון פריינד-סעדון	מנהלת קהילת המפתחים, NVIDIA
	פרופ' גל צ'צ'יק	המרכז הרב תחומי לחקר המוח, אוניברסיטת בר-אילן מנהל חטיבת המחקר לבניה מלאכותית בארץ, NVIDIA
	פרופ' צבי שילר	רובוטיקה, רכבים אוטונומיים, אוניברסיטת אריאל האיגוד הישראלי לרובוטיקה
	פרופ' ברכה שפירא	רמ"ח הנדסת מערכות מידע, אוניברסיטת בן-גוריון

7. חברי צוות המשנה סייבר ומערכות נבונות

תפקיד	שם	שיוך ארגוני
ראש הצוות	הודי זק	מערך הסייבר הלאומי
מזכיר הצוות	עינן ליכטרמן	מערך הסייבר הלאומי
חברי הצוות	ג'קי ביטון	מכא"ת
	ד"ר יעקב הוך	NEC
	ד"ר יניב הראל	DELL_EMCC
	ויטלי	צה"ל
	הילה פרס-ועקנין	אלביט
	תומר טלגם	מערך הסייבר הלאומי
	גדעון קונפינו	רשות התקשוב הממשלתי
	אריק קליין	משרד הבטחון
	כרופ' יוסי קשת	אוניברסיטת בר-אילן

8. חברי צוות המשנה אתיקה ורגולציה

תפקיד	שם	שיוך ארגוני	
ראש הצוות	פרופ' קרין נהון	המרכז הבינתחומי הרצליה ונשיאת איגוד האינטרנט הישראלי	
מזכירת הצוות	ד"ר דלית קן דרור פלדמן	מנחה משפטית, הקליניקה למשפט, לטכנולוגיה ולסייבר, אוניברסיטת חיפה ומרצה במכללה האקדמית צפת	
חברי הצוות	יואב אבנשטיין	נציג ישראל בוועדת התקינה הבינלאומית בעניין בינה מלאכותית ובוועדת האתיקה האירופאית לבינה מלאכותית	
	אורי אליאבייב	יועץ עסקי ומייסד קהילת Machine & Deep Learning Israel	
	פרופ' ניבה אלקין קורן	ראשת המרכז למשפט וטכנולוגיה והמרכז לסייבר, משפט ומדיניות, הפקולטה למשפטים, אוניברסיטת חיפה	
	עו"ד עמית אשכנזי	היועץ המשפטי, מערך הסייבר הלאומי, משרד רה"מ	
	עו"ד יערה בן שחר	היועצת המשפטית, רשות התקשוב הממשלתית, משרד רה"מ	
	אולג ברודט	מנהל החדשנות של Cyber@BGU ומנהל מו"פ במעבדות החדשנות של דויטשה טלקום בישראל	
	ד"ר רן גלעד-בכרך	מחלקת המחקר Microsoft Research, מיקרוסופט	
	שלומי הוד	מדען נתונים	
	עו"ד יורם הכהן	מנכ"ל איגוד האינטרנט הישראלי (ע"ר)	
	ענבר נאור	חברת טאבולה (Taboola)	
	שי פלצ"י	יועץ לנושאי למידה חישובית ומדע המידע	
	עו"ד צפריר נוימן	היועץ המשפטי, הלשכה המשפטית, הרשות הלאומית לחדשנות טכנולוגית	
	ד"ר ניל נמיר	יועץ מדיניות מו"פ, מועצה לאומית למחקר ופיתוח	
	דן קוטליאר	המחלקה לסוציולוגיה ואנתרופולוגיה, אוניברסיטת העברית	
	עמית קרן	מנכ"ל דויטשה טלקום ישראל	
	ד"ר תהילה שוורץ אלטשולר	ראש התוכנית לדמוקרטיה בעידן המידע, המכון הישראלי לדמוקרטיה	
	ד"ר רועי שיינדורף	המשנה ליועץ המשפטי לממשלה (משפט בין-לאומי)	
	עידן שער	יועץ בתחום הסייבר והבינה המלאכותית	
	משקיפים	שירה ריבנאי בהיר	המחלקה לסוציולוגיה ואנתרופולוגיה, אוניברסיטת בן-גוריון
		עו"ד לימור שמרלינג מגזניק	מנהלת המכון הישראלי למדיניות טכנולוגיה
צוות כתיבת הדו"ח (לפי סדר הא"ב)	עו"ד עמית אשכנזי, ד"ר רן גלעד-בכרך, פרופ' קרין נהון, ד"ר דלית קן דרור פלדמן, מר עמית קרן, ד"ר תהילה שוורץ אלטשולר		

9. חברי צוות המשנה קשרי אקדמיה ותעשייה

תפקיד	שם	שיוך ארגוני
ראש הצוות חברי הצוות	ד"ר עמי אפלבוים	המדען הראשי, משרד הכלכלה ראש רשות החדשנות
	אניה אלדן	מנהלת זירת הזנק, רשות החדשנות
	אביב אלכר	Director of Research and Analysis, SNC
	יואב אבנשטיין	אנליסט ICT ברמות, אוניברסיטת תל אביב יועץ פרילנס בתחום ה-AI מטעם מייקרוסופט נציג ישראל בוועדת התקינה הבינלאומית לבינה מלאכותית ISO
	ד"ר הראל בדיחי	מנהל המו"פ והפיתוח העסקי, מערכות מוטסות, אלתא - תעשייה אווירית
	אמנון גורן חזקיה	
	פרופ' חיית גרינשפן	אוניברסיטת תל אביב
	פרופ' שלומי דולב	אוניברסיטת בן-גוריון
	טל הרמלין	Director, Head of Strategic Sectors Development, SNC
	ד"ר יעל וילה	מנכ"לית פסיפס, רשות החדשנות
	פרופ' שמואל וימר	פקולטה להנדסה, אוניברסיטת בר-אילן
	אביב זאבי	ראש זירת תשתיות וטכנולוגיה, רשות החדשנות
	רוני זיו	מנהל תכנית, כלי טייס, אלביט
	פרופ' רמי חג'י	CEO, LIFETOBOT
	רועי ירום	מערך הסייבר הלאומי
	עמי לוטבאק	CTO of the Microsoft IL dev center
	ד"ר יהודה נוה	IBM
	נילי ניימר	מועצה לאומית למחקר ופיתוח, משרד המדע וטכנולוגיה
	עו"ד רווית קורן זילברפרב	ראש המטה, רשות התקשוב הממשלתית
	פרופ' גל קמינקא	אוניברסיטת בר-אילן
ארז רודר	חטיבת מודיעין/ ראש מנהלת המידע, אלביט	
יעקב רימר	יועץ למכא"ת	
אבנר שמחוני	משרד רה"מ	
צחי שמר	מנהל תכנית, כלי טייס, אלביט	

10. חברי צוות המשנה ממשל

תפקיד	שם	שיוך ארגוני
ראש הצוות	שני שרביט	סמנכ"לית בכירה מדיניות, מערך הסייבר הלאומי, משרד רה"מ
מזכיר הצוות	חמי פקר	מנהל מרכז החדשנות לבינה מלאכותית של מוטורולה העולמית בישראל
חברי הצוות	יואב אבנשטיין	ארגון התקינה הבינ"ל - נציג ישראל ל-AI
	יובל אדמון	ראש אגף בכיר אסטרטגיה כלכלית חברתית, המועצה הלאומית לכלכלה, משרד רה"מ
	שחר ברכה	מנהל חטיבת תכנון ואסטרטגיה, רשות התקשוב, משרד רה"מ
	אורי גבאי	סמנכ"ל אסטרטגיה, רשות החדשנות
	פרופ' אפי זהבי	דיקן הפקולטה להנדסה, אוניברסיטת בר-אילן
	ד"ר נילי מנדלבלית	ISERD, רשות החדשנות
	יאיר פרנק	לשעבר ראש רשות התקשוב, משרד רה"מ
	ערן קרני	ראש חטיבת וועדות שרים, מל"ל, משרד רה"מ
	דוד שורש	אגף אסטרטגיה והתעצמות, מערך הסייבר הלאומי, משרד רה"מ
	שי-לי שפיגלמן	ראש מטה ישראל דיגיטלית, המשרד לשוויון חברתי

11. חברי צוות המשנה בריאות ורפואה

תפקיד	שם	שיוך ארגוני
ראש הצוות	פרופ' גבי ברבש	מכון ויצמן
מזכיר הצוות	אמנון חזקיה	
חברי הצוות ומשתתפי הפגישות	עו"ד טליה אגמון	משרד הבריאות
	פרופ' רון אונגר	
	ד"ר נטלי בלוך	ראש מרכז החדשנות ב"ח שיבא תל השומר
	פרופ' דן בלומברג	סגן נשיא לפיתוח אזורי ותעשייתי, אוניברסיטת בן-גוריון
	נעמי בק	
	אמנון בר לב	אוניברסיטת תל אביב לשעבר נשיא צ'ק פוינט
	גל גושן	
	פרופ' רוני גמזו	מנכ"ל ב"ח איכילוב
	פרופ' אהוד גרוסמן	אוניברסיטת תל אביב
	אבנר הלפרין	לשעבר מנכ"ל ארליסנס
	דורית ויניץ	
	פרופ' יפה זילברשץ	יו"ר הות"ת
	פרופ' אבינתן חסידים	אוניברסיטת בר אילן ראש המחקר של גוגל בישראל
	אייל טולדנו	זברה מדיקל
	דקל טליאז	מנכ"ל Taliaz Health
	יובל כהן	
	צבי לב	מנכ"ל NEC ישראל
	עמית מידן	מנכ"ל Milagro AI
	אופיר מרר	משרד הבריאות
	פרופ' אורי נבו	אוניברסיטת תל אביב
	איזי פפר	סמנכ"ל טכנולוגיות Imedis AI
	ד"ר שי רוזנברג	
	ד"ר מיכי רול	
מירב שביב		
פרופ' נעם שומרון	אוניברסיטת תל אביב	
פרופ' ורדה שלו	מכבי שירותי בריאות	
ד"ר נדב שפר		

12. חברי צוות הייעוץ לפרויקט לאומי בחקלאות

תפקיד	שם	שיוך ארגוני
ראש הצוות	ד"ר שמואל אסולין	מינהל המחקר החקלאי - מכון וולקני
חברי הצוות	פרופ' אביטל בכר	מינהל המחקר החקלאי - מכון וולקני
	ד"ר עמית גלאון	מינהל המחקר החקלאי - מכון וולקני
	ד"ר יעל לאור	מינהל המחקר החקלאי - מכון וולקני
	ד"ר יפתח קלפ	מינהל המחקר החקלאי - מכון וולקני
	פרופ' דני שטיינברג	מינהל המחקר החקלאי - מכון וולקני

13. חברי צוות המשנה תחבורה

תפקיד	שם	שיוך ארגוני
ראש הצוות	אל"מ (במיל.) ד"ר ארז סברדלוב	יועץ אסטרטגי בכיר, א.ס. בינות בע"מ
חברי הצוות	רמי בהלול	דירקטור פיתוח עסקי, רכבים אוטונומיים ותחבורה חכמה, חברת אנבידיה
	אל"מ (במיל.) דרור בן דויד	יועץ בכיר, חברת מטריקס דיפנס
	פרופ' הלל בר-גרא	המחלקה להנדסת תעשייה וניהול, אוניברסיטת בן-גוריון
	אל"מ (במיל.) אלי גמזון	מנכ"ל חברת Etjet
	פרופ' אפרים זהבי	דיקן הפקולטה להנדסה, אוניברסיטת בר-אילן
	ד"ר נילי מנדלבלית	דירקטורית, ISERD, רשות החדשנות
	גד מרגי	מוביל טכנולוגי, מערך הסייבר הלאומי
	אריק פאר	חוקר ביצועים, חברת מטריקס
	עידן שער	יועץ בטחון מערכות מידע

14. חברי צוות המשנה ביטחון

תפקיד	שם	שיוך ארגוני
ראש הצוות	תא"ל עומר דגן	מפקד החטיבה לטרנספורמציה דיגיטלית באגף התקשוב, צה"ל
מזכירת הצוות חברי הצוות	סא"ל נורית כהן אינגר	chief data officer באגף התקשוב, צה"ל
	יואב אבנשטיין	אנליסט מחקר בכיר, רמות - אוניברסיטת תל אביב, נציג ישראל בוועדת התקינה הבינלאומית לבינה מלאכותית
	אל"מ ד"ר יוסי אברבנאל	מוקד ידע, אגף המודיעין, צה"ל
	ד"ר חיים אסא	CTO, חברת סייקאן ומנכ"ל חברת נואומנה
	סא"ל שי אקלר	רע"ן מודיעין חזותי, מפא"ת
	ד"ר הראל בדיחי	מנהל המו"פ והפיתוח העסקי, מערכות מוטסות, אלתא - תעשייה אווירית
	פרופ' דן בלומברג	סגן נשיא לפיתוח אזורי ותעשיית, אוניברסיטת בן-גוריון
	דרור בן דוד	ראש תחום בינה מלאכותית, מטריקס
	סא"ל ג'	רע"ן בינה מלאכותית, אגף המודיעין, צה"ל
	רוני זיו	מו"פ, אלביט מערכות כלי טייס
	עדי זיסהולץ	CTO יבשה ותקשוב, אלביט
	סא"ל י'	רע"ן בינה מלאכותית הנכנס, אגף המודיעין, צה"ל
	יוסי כהן	CTO, אלביט מערכות תקשוב וסייבר
	ר' כהן	יחידת המו"פ, משרד רה"מ
	ד"ר עמי עקב	ראש תחום אלגוריתמים במרכז הפיתוח ת"א, רפאל
	חמי פקר	CSO & COO, Antitoxin
	אריק ק'	מלמ"ב
	ש'	נציג שירות הביטחון הכללי
	רס"ן דוד שורש	רת"ח אסטרטגיה, מס"ל
	יניב שניידר	מנהל מרכז הפיתוח ת"א, רפאל
צחי שנרך	סגן מנהל, רשות החדשנות	

15. חברי צוות המשנה פינטק

תפקיד	שם	שיוך ארגוני
ראש הצוות	פרופ' דני צידון	קרן וילה פינטק
חברי הצוות	ד"ר רונן אלמוג	חברת E-TORO
	מיכל בלומנשטיק ברוורמן	חברת Microsoft
	אבנר זיו	בנק ישראל
	דניאל אחיאשווילי	בנק ישראל
	איתי מאירי	רשות החדשנות
	שרית קמחי	רשות החדשנות
	לביא שטוקהמר	מערך הסייבר
	פרופ' עודד שריג	חברת מגדל

The National Initiative for Secured Intelligent Systems to Empower the National Security and Techno-Scientific Resilience: A National Strategy for Israel

Special Report to the Prime Minister

PART II: Sub-Teams Reports & List of Participants

Written and edited by:

Prof. Isaac Ben-Israel, Initiative Co-Chair

Prof. Eviatar Matania, Initiative Co-Chair

Leehe Friedman, Initiative Coordinator

Published in cooperation with the Yuval Ne'eman Workshop for Science, Technology and Security, Tel Aviv
University.

<https://en-sectech.tau.ac.il>

Graphic design and cover design: **Sarit Arieli**

September 2020

Please use the following reference when citing the report:

Ben-Israel, I., Matania, E. & Friedman, L. (Eds.) (Sep. 2020). *The National Initiative for Secured Intelligent Systems to Empower the National Security and Techno-Scientific Resilience: A National Strategy for Israel. Special Report to the Prime Minister.*



**THE NATIONAL INITIATIVE FOR SECURED INTELLIGENT SYSTEMS
TO EMPOWER THE NATIONAL SECURITY
AND THE TECHNO-SCIENTIFIC RESILIENCE:
A NATIONAL STRATEGY FOR ISRAEL**

Special Report to the Prime Minister

PART II: Sub-Teams Reports & List of Participants

Initiative Co-Chairs: Prof. Isaac Ben-Israel | Prof. Eviatar Matania
Initiative Coordinator: Leehe Friedman

September 2020