

בינה מלאכותית וביטחון לאומי בישראל

לירן ענתבי



בינה מלאכותית וביטחון לאומי בישראל

לירן ענתבי

המכון למחקרי ביטחון לאומי

המכון למחקרי ביטחון לאומי, המשלב בתוכו את מרכז יפה למחקרים אסטרטגיים, הוקם בשנת 2006. למכון שתי מטרות מוצהרות: הראשונה היא לערוך מחקרים בסיסיים בנושאי הביטחון הלאומי של ישראל, המזרח התיכון והמערכת הבינלאומית, וזאת על פי אמות המידה האקדמיות הגבוהות ביותר, והשנייה – לתרום לדיון הציבורי ולעבודת הממשל בנושאים שנמצאים, או ראוי שיימצאו, בראש סדר היום הביטחוני של ישראל. קהלי המטרה של המכון למחקרי ביטחון לאומי הם דרג מקבלי ההחלטות, מערכת הביטחון, מעצבי דעת קהל בישראל, הקהילה האקדמית העוסקת בתחומי הביטחון בישראל ובעולם והציבור המתעניין באשר הוא.

המכון מפרסם מחקרים שלדעתו ראויים לתשומת הלב הציבורית ושומר על מדיניות נוקשה של אי-משוא פנים. הדעות המובעות בפרסומים הן של המחברים בלבד, ואינן משקפות בהכרח את העמדות של המכון, של נאמניו או של האישים ושל הגופים התומכים בו.

בינה מלאכותית וביטחון לאומי בישראל

לירן ענתבי

ספטמבר 2020

מזכר 205

Artificial Intelligence and National Security in Israel

Liran Antebi

המכון למחקרי ביטחון לאומי (חברה לתועלת הציבור – חל"ץ)

חיים לבנון 40

ת"ד 39950

רמת-אביב

תל-אביב 6997556

דוא"ל: info@inss.org.il

אתר המכון: <http://www.inss.org.il/he>

ISBN: 978-965-92806-4-3

כל הזכויות שמורות © ספטמבר 2020

עורכת לשון: מירה ילין

הביאה לדפוס: נעם רן

עיצוב גרפי: מיכל סמו קובץ ויעל ביבר, המשרד לעיצוב גרפי, אוניברסיטת תל אביב
איורים ותשימים: לם-מרגלית, אדווה לוברני וקארין דניאל ממון

דפוס: דיגיפריט זהב בע"מ

תוכן העניינים

7	עיקרי הדברים
13	תקציר מנהלים
19	הקדמה: בינה מלאכותית – למה עכשיו?
23	מבוא
27	בינה מלאכותית ויישומיה הביטחוניים
29	פרק 1 מהי בינה מלאכותית?
41	פרק 2 תחומי בינה מלאכותית
47	פרק 3 יישומים ביטחוניים נפוצים
55	פרק 4 טכנולוגיות נתמכות ותומכות
61	פרק 5 בינה מלאכותית כללית
63	בינה מלאכותית והזירה הבינלאומית
65	פרק 6 מצב הבינה המלאכותית בעולם
75	פרק 7 השפעות אפשריות על הזירה הבינלאומית
79	פרק 8 מה ניתן ללמוד מהמקרה של מערכות הנשק האוטונומיות?
83	בינה מלאכותית וביטחון לאומי בישראל: הזדמנויות ואתגרים
85	פרק 9 בינה מלאכותית בישראל
91	פרק 10 בינה מלאכותית, ביטחון לאומי בישראל ואסטרטגיית צה"ל
95	פרק 11 אתגרים
111	סיכום והמלצות
119	הערות

בינה מלאכותית וביטחון לאומי לישראל

בינה מלאכותית היא שם כולל למערכות מחשב מבוססות נתונים, שמסוגלות להפיק ידע ותובנות חדשים באמצעות יכולות כמו הבנה, הנמקה ותפיסה – שעד כה נתפסו כיכולות הייחודיות לבני אנוש.

מדובר בתחום טכנולוגי פורץ דרך, שכיום ניתן לממש את יכולותיו במגוון יישומים ביעילות יחסית, במחיר סביר ובקנה מידה רחב. ההתקדמות הטכנולוגית הזו משפיעה על תחומים רבים, וביניהם באופן בולט על הביטחון הלאומי.

עבור ישראל מהווה הבינה המלאכותית תחום טכנולוגי בעל חשיבות מכרעת, נוכח העובדה שכיום היא אחת המדינות המובילות בעולם בפיתוח (שכן חלק מחוסנה הכלכלי נסמך במידה רבה על תעשיית ההיי-טק) והן לנוכח האתגרים המרובים שהיא ניצבת בפניהם, ואשר לטכנולוגיה זו יש פוטנציאל לסייע בהתמודדות עימם.

בינה מלאכותית כוללת מספר רב של תת-תחומים, ביניהם: למידת מכונה, למידה עמוקה, ראייה ממוחשבת, עיבוד שפה טבעית, וכן מספר טכנולוגיות נלוות בעלות השפעה הדדית ביניהן.

בתחום הביטחוני מאפשרות טכנולוגיות בינה מלאכותית יישומים מגוונים ובהם:



יכולות ויישומים אלו מחדדים את הקשר ההדוק בין טכנולוגיית בינה מלאכותית לביטחון לאומי בכלל, ולביטחון הלאומי בישראל בפרט.

ההבנה שלטכנולוגיה זו חשיבות מכרעת ביצירת חוסן כלכלי וביטחוני ובהגברת עוצמתן של מדינות מובילה למרוץ חימוש של ממש בין המעצמות ובהן ארצות הברית, סין ורוסיה. נוסף על כך, מרבית המדינות המובילות מבחינה טכנולוגית בנו תוכניות לאומיות לקידום ולפיתוח בינה מלאכותית, והן מקצות משאבים ותשומת לב ניהולית להשגת יתרון בתחום. הדבר עשוי להשפיע על הזירה הבינלאומית ובתוכה על שדות הקרב העתידיים. בין היתר, קיים חשש מערעור היציבות של הזירה הבינלאומית בעקבות תופעות חדשות כגון "מלחמת יתר".

למרות היתרונות הרבים וההזדמנויות הטכנולוגיות, הבינה המלאכותית טומנת בחובה אתגרים מגוונים לישראל:



חיבור זה מעלה המלצות רבות בתחומים מגוונים:



משאבי אנוש

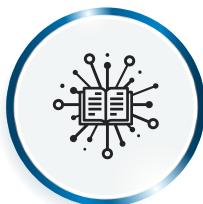
תקצוב, מימון ויצירת
תשתיות לאומיות

מחקר ופיתוח

ארגון



היבטים בינלאומיים,
דיפלומטיים ומודיעיניים



שיתוף ידע



מוסר, חקיקה תקינה
ונוהלי בטיחות

להלן כמה מן ההמלצות הבולטות שעלו מן המחקר:

יש לנסח אסטרטגיה לאומית לבינה מלאכותית ולהקים גוף שינהל אותה ברמה הלאומית.

01

יש צורך בתוכנית רב-שנתית לבינה מלאכותית, כמו זו הקיימת בתחום הסייבר, על מנת לנתח את התחום באופן רחבי ואורכי, להוביל מדיניות לאומית של הקצאת משאבים ולקבל החלטות בנוגע למחקר ופיתוח, משאבי אנוש ונושאים נוספים.

02

יש ליצור פתרון לאומי לסוגיות תשתית (חומרה, ענן, חיבור לאינטרנט) ולהקצות תקציב מתמשך לכך, משום שלקהילת הביטחון, בשונה מהתעשייה האזרחית, יש צרכים שאינם מאפשרים לרוב שימוש בתשתיות מסחריות עקב סוגיות של סיווג, למשל, ואילוצים ביטחוניים אחרים.

03

יש לבחון שילוב מידי של בינה מלאכותית בתחומים טכנולוגיים ביטחוניים שבהם לישראל יש כבר עכשיו יתרון יחסי (דוגמת תחום המל"טים), על מנת לייצר מכפיל כוח.

04

יש להכשיר במגזר הביטחוני כוח אדם לא טכנולוגי, כולל בדרגים הבכירים, להכרת התחום, מגבלותיו ויכולותיו, וכדי שיוכל להיות מעורב ופעיל יותר בקבלת החלטות בתחום.

05

06

בתוך ארגוני הביטחון השונים יש צורך לבחון ניהול משאבי אנוש ברמה הכלל-מערכתית, לרבות הגדרת תפקידים, תקנים והכשרות משותפים, מעבר כוח אדם בין ארגונים וכן תמריצים ותקציבים לגיוס ולשימור כישרונות, כדי לא לאבד אותם לטובת התעשייה האזרחית.

07

יש להגדיר את תחומי המחקר שדורשים מימון בתקציב ממשלתי-ביטחוני לאור היותם ייחודיים לביטחון הלאומי, ועקב כך לא יקבלו מענה בדרך אחרת.

08

יש צורך להשקיע במחקרי עומק במערכת הביטחון הלאומי, ולא להסתמך רק על מחקרים אקדמיים שלעיתים קרובות נשארים ברמה תאורטית בלבד, ואינם מספקים או אינם מבוצעים בתחומים שנחוצים למערכת.

09

שיתוף ידע במערכת הביטחון של ישראל הוא חיוני, לכן יש לקבוע מנגנונים בין ארגוני הביטחון השונים, כך שתימנע כפילות של עבודה ותתאפשר השלמת פערים בין הארגונים, וכן יצירת פתרונות מתואמים.

10

יש לשקול שילוב מנגנונים של עידוד השקעות בתחומי בינה מלאכותית שיש להם השפעה חיובית על הביטחון הלאומי, ובמקביל להגדיל את ההוצאות הממשלתיות על בינה מלאכותית גם בתחומים אזרחיים שיניעו את המשק בתחום זה.

11

יש להגדיל השקעות במחקר ופיתוח בתחום אדם-מכונה עבור מערכת הביטחון, מתוך הבנה שחרף האוטונומיות הגבוהה של המערכות, עדיין יישארו בה בעתיד רכיבים של שליטה אנושית. בתוך כך מומלץ לתעדף מחקר ופיתוח של בינה מלאכותית בתחומים המסייעים לאדם במקום בתחומים מחליפי אדם, עד לביסוס אמינות ובטיחות של הטכנולוגיה וטיפול בהיבטים מנהלתיים ומשפטיים.

12

יש לפתח את התחום של עיבוד שפה בעברית, כולל יישומים כמו NLP, דיבור לטקסט, טקסט לדיבור ועוד.

13

יש לפעול לפיתוח נורמות ועקרונות לבטיחות ואחריות בשימוש בבינה מלאכותית במערכת הביטחון, בשאיפה שישפיעו גם על פעילותם של גורמים אזרחיים.

14

יש להגדיר עבור מערכות ביטחוניות מהו הקוד האתי בשימוש בבינה מלאכותית באופן כללי, ובמיוחד בהקשרי צוותים של אדם-מכונה.

15

מטעמים של משפט, מוסר, בטיחות וייתרות, יש להחליט באילו מערכות ישומרו גם מנגנונים לפיקוח ולשליטה אנושיים.

16

יש צורך לעקוב בצורה סדורה, ברמה הלאומית, אחר המתרחש במערכת הבינלאומית בתחומי בינה מלאכותית ומדעי הנתונים, במטרה לשמר את היתרון של ישראל בהם, כולל בכל מה שקשור לאמנות ותקנים.

17

יש לפעול לחיזוק מחקר משותף ושיתופי פעולה נוספים בין ישראל ובין מדינות אחרות.

18

על ישראל להשתתף ואף להוביל קואליציית מדינות בתחום הבינה המלאכותית, כמו בתחומי המודיעין או ההגנה האווירית.

19

על ישראל להשתלב ביוזמות בינלאומיות ואף להובילן, לצורך הגבלה של גורמים סוררים שתמנע מהם להגיע להישגים בתחום, בין ביוזמות ביטחוניות ובין ביוזמות אזרחיות.

20

יש לבחון תקנים ותהליכים בתחום היצוא של מערכות בינה מלאכותית, כולל היתרי יצוא ביטחוניים. נדרש לקבל החלטות שמצד אחד ישמרו את חוסנה של התעשייה ואת יכולת הפעולה שלה, ומצד שני יאפשרו הגבלה של יצוא העלול לפגוע בביטחונה של ישראל.

תקציר מנהלים

בינה מלאכותית וחיבורה עבור הביטחון הלאומי של ישראל

בינה מלאכותית היא שם כולל למערכות מחשב מבוססות נתונים, שמסוגלות להפיק ידע ותובנות חדשים באמצעות יכולות כמו הבנה, הנמקה ותפיסה – שעד כה נתפסו כיכולות הייחודיות לבני אנוש.

הבינה המלאכותית מאפשרת לממש יכולות אלה במגוון יישומים ביעילות יחסית, במחיר סביר ובקנה מידה רחב. האוטומציה של יכולות אנושיות אלה יוצרת הזדמנויות חדשות ומשפיעה על תחומים רבים, וביניהם באופן בולט על הביטחון הלאומי. מטרת חיבור זה היא להציג את הנושא המורכב של בינה מלאכותית לציבור בכלל ולמקבלי החלטות בפרט, ולאור תיאור וניתוח של האתגרים וההזדמנויות הגלומים בו – להמליץ על מדיניות רצויה לישראל בתחום.

עבור ישראל מהווה הבינה המלאכותית תחום טכנולוגי בעל חשיבות מכרעת, הן משום שכיום היא אחת המדינות המובילות בעולם בפיתוח והן לנוכח האתגרים המרובים שהיא ניצבת בפניהם, ואשר לטכנולוגיה זו יש פוטנציאל לסייע בהתמודדות עימם. זאת נוסף על העובדה שישראל (כמעט) חסרה משאבים טבעיים, וחוסנה הכלכלי נסמך במידה רבה על תעשיית ההיי־טק.

חשיבות הנושא אף גוברת, משום שמקובל להעריך כי לבינה מלאכותית תהא יכולת להגביר את קצב הצמיחה הכלכלית, למצוא מזור למחלות ולשפר את מערכות הבריאות, לשפר את יעילות התחבורה ואת בטיחותה, לעודד יעילות אנרגטית ולשפר את הבנת תופעות האקלים, ואולי אף להוביל ליציבות מבוססת שלום בזירה הבינלאומית, בין היתר באמצעות הרתעה. מכיוון שכך, על מקבלי ההחלטות בישראל להכיר את התחום לעומקו, לבחון את ההזדמנויות והאתגרים הטמונים בו ועל בסיס המסקנות לגבש מדיניות הולמת ולדאוג להוצאתה לפועל בקצב שיאפשר התמודדות עם התרחשויות אזוריות ובינלאומיות, וכל זאת בהתחשב בתחרות המואצת בתחום זה בזירה הבינלאומית.

תחומים שונים של בינה מלאכותית ויישומיה הביטחוניים

בינה מלאכותית כוללת מספר רב של תת-תחומים, ביניהם למידת מכונה, למידה עמוקה, ראייה ממוחשבת, עיבוד שפה טבעית, וכן מספר טכנולוגיות נלוות בעלות השפעה הדדית ביניהן כגון האינטרנט של הדברים (חפיצים שונים, המאופיינים ביכולות דיגיטליות של חיבור לרשת האינטרנט ויכולת לשדר ולקבל מידע ולסייע בביצוע פעולות מסוימות) וטכנולוגיות דו-שימושיות, המשמשות הן בזירה האזרחית והן בזירה הביטחונית. תחומים אלו ונוספים מהווים יסודות ליישומים מגוונים בתחומי חיים שונים לרבות מסחר, רפואה, אקדמיה ותחבורה, וכן בתחום הביטחוני. בתחום הביטחוני מאפשרות טכנולוגיות בינה מלאכותית יישומים מגוונים ובהם בתחום המודיעין, למשל מערכות המסוגלות לסקור כמויות עתק של נתוני וידאו ולזהות בהם מטרות; יישומים לוגיסטיים המאפשרים טיוב וחיסכון במשאבים; נהיגה אוטונומית, אשר גם לה פוטנציאל בתחום הביטחוני, כמו זה הקיים בתחום האזרחי ואף מעבר לו; מערכות נשק אוטונומיות המאפשרות שיפור דיוק וצמצום סיכון ללוחמים המשתמשים בהן; מערכות תכנון ותמיכה בקבלת החלטות וסימולציות, המאפשרות לשפר ולקצר תהליכי תכנון וקבלת החלטות בשלבים שלפני ביצוע משימות, על בסיס כמויות נתונים אדירות שלא ניתן היה לנתח קודם לכן; מערכות פיקוד ושליטה המאפשרות להתמודד עם נתוני עתק – ביג דאטה (Big Data) ממקורות שונים, תוך הצלבתם וניתוחם בזמן אמת של ביצוע משימות, ולשפר את התוצאות באמצעות הכוונה ושינויים בהחלטות במעגל מתמשך; לוחמת סייבר והגנת סייבר וספקטרום אלקטרומגנטי, שהן בין התחומים המובילים כיום בשימוש בבינה מלאכותית, לצורכי התקפה ולצורכי הגנה, בהתמודדות עם כמויות נתונים וקצבים שעולים על היכולת האנושית; חיזוי, התרעה ומניעה או ניהול של מצבי אסון, ובתוך כך יכולת להשתמש במאגרי מידע עצומים או בחיישנים שונים במטרה לבצע קיבוץ (אגרגציה) של מידע, שיוביל לתובנות שלא ניתן היה להגיע אליהן באמצעים אחרים.

מעבר לכל אלה קיימות טכנולוגיות נוספות הנדרשות לפיתוח ושימוש בבינה מלאכותית. למשל, נתוני עתק נדרשים על מנת לאמן יישומי בינה מלאכותית. לאחר האימון היישומים מסוגלים לבצע פעולה אוטונומית על מקבצים של נתונים חדשים שהם לא נחשפו אליהם קודם לכן. דוגמאות נוספות הן טכנולוגיות שמהוות תשתית להפעלת יישומי בינה מלאכותית כמו מחשוב ענן, מחשוב-על ומחשוב קוונטי, או רשתות דור חמישי, שנדרשות להעברה מהירה דיה של נתונים ולצורך שיפור ביצועי מערכות מבוססות בינה מלאכותית.

כמו כן, קיימות טכנולוגיות הנתמכות על ידי בינה מלאכותית. למשל, טכנולוגיות "נחילים" המשמשות להפעלה בשיתוף פעולה מתקדם של מערכות שונות או טכנולוגיות

ויישומים בתחום אינטראקציות אדם-מכונה וכן ממשק מוח-מכונה, שנועדו לקצר את פרק הזמן בין קבלת המידע על ידי אדם ולסייע בקבלת ההחלטה ובהעברתה חזרה למכונה.

יכולות ויישומים אלו מחדדים את הקשר ההדוק בין טכנולוגיית בינה מלאכותית לביטחון לאומי בכלל, ולביטחון הלאומי בישראל בפרט. זאת על פי תפיסת הביטחון הלאומי של ישראל על היבטיה הנרחבים – גם אלה שמעבר למובנים הצבאיים – וכן על פי 'אסטרטגיית צה"ל' (2015). על כן, קיים פוטנציאל רב לשימור ולשיפור הביטחון הלאומי של ישראל באמצעות ניהול נכון של תחום הבינה המלאכותית בארץ. לכך חשיבות רבה אף יותר אל מול התחרות הבינלאומית ההולכת וגוברת בתחום.

מרוץ חימוש ותחרות טכנולוגית בין מעצמות על הובלה בבינה המלאכותית

ניכר כי בצד ההתפתחות התעשייתית והטכנולוגית, מנהיגיהן של מדינות רבות ובהן גם המעצמות המובילות בעולם מבחינה טכנולוגית וכלכלית השכילו להבין מאז 2014 לערך את חשיבותה של הבינה המלאכותית עבור עוצמתן של המדינות שבראשן הם עומדים. סין, ארצות הברית וחלק ממדינות האיחוד האירופי, למשל, כבר בנו תוכניות לאומיות בתחום והן מקצות לו משאבים ותשומת לב ניהולית, על מנת לדחוף את מדינותיהם קדימה. מרבית האסטרטגיות מדגישות את חשיבותו של התחום כמנוע צמיחה כלכלי, ויותר מכך עבור הביטחון הלאומי, ובתוכו גם יישומים צבאיים.

אחד התחומים המתפתחים במסגרת מרוץ החימוש הזה הוא מערכות נשק אוטונומיות המסוגלות לאתר, לזהות ולתקוף מטרה ללא מעורבות אנושית, כאשר ארצות הברית היא המובילה בתחום זה, לצד תחום ה"נחילים". ואולם, סין אינה ניצבת מן הצד והיא מובילה בתחומים אחרים רבים, בין היתר בזכות הניהול הריכוזי שבה והעובדה שהממשל שולט גם בחברות האזרחיות. על כך נוספת העובדה שסין מובילה במאגרי המידע שלה על אוכלוסייתה, שאותם גיבשה לאורך תקופה ממושכת. איסוף המידע התאפשר בשל אי-התחשבות בזכויות אדם ובזכות אזרח לפרטיות. מנגד, מסיבות אלו ממש סין מתקשה לגייס מומחים וחברות, החוששים מגניבה של אלגוריתמים ומהשלכות מוסריות של השימוש בטכנולוגיה שהם יפתחו. אחרי סין וארצות הברית ניצבים בפיגור יחסי האיחוד האירופי, בריטניה ורוסיה.

יתר על כן, מלבד מרוץ החימוש והתחרות הכלכלית, בינה מלאכותית עשויה להשפיע בדרכים נוספות על הזירה הבינלאומית, ויש להביא זאת בחשבון בעת גיבוש מדיניות בתחום. בין ההשפעות האפשריות ניתן למנות: סיכונים הקשורים לבטיחות בינה מלאכותית, השפעת לוואי על תחומי חימוש אחרים – ביניהם נשק גרעיני – וסיכון ל"מלחמת יתר", וכן השפעה על יחסי עוצמה וסיכוי או סיכון ליצירתו של סדר עולמי חדש, הגדלת הפער בין מדינות מתפתחות ומפותחות, או לחלופין – שיפור איכות החיים

והיציבות בזירה הבינלאומית באמצעות הרתעה. על אודות חלק מנושאים אלה ניתן ללמוד ממקרי מבחן היסטוריים של מרוצי חימוש, ובהם גם המקרה החדש יחסית של מערכות נשק אוטונומיות, המלמד כי קצב ההגבלה של טכנולוגיות חדשניות על ידי המשפט הבינלאומי הוא איטי למדי. ההתפתחות הטכנולוגית בתחום עתידה להציב בפני מקבלי ההחלטות במדינות השונות אתגרים מוסריים ומשפטיים, רגולטוריים ואחרים, שהסיכוי לפתרונם מבעוד מועד, באמצעות ערכאות בינלאומיות ושיתוף פעולה בין מדינות, הוא קלוש.

אתגרים בתחום הבינה המלאכותית והמלצות להתמודדות עימם

בצל האתגרים הנובעים מן התחרות הבינלאומית ולמרות היתרונות הרבים וההזדמנויות, טכנולוגיית הבינה המלאכותית טומנת בחובה אתגרים מגוונים לישראל, שעבורם נדרשת התייחסותם של מקבלי ההחלטות בתחום. ביניהם ניתן למנות:

אתגרים טכניים – כוללים אתגרים בפיתוח; קושי בהתאמה של טכנולוגיה אזרחית לשימוש צבאי; סטנדרטיזציה; אתגרים בתחום החומרה והאנרגיה; חוסר בנתונים גולמיים (דאטה); קושי להסביר את תוצאות פעולתה של מערכת בינה מלאכותית בשל היותה "קופסה שחורה".

אתגרים ארגוניים – כוללים צורך בתקציבים ייעודיים; השקעה וניהול של משאבי אנוש; התמודדות עם היותה של ישראל מדינה קטנה בעלת משאבים מוגבלים.

אתגרים בשימוש – כוללים קשיים בהתאמת הקצב של הסביבה או בני האדם המשתמשים במערכות אלו ליכולותיהן הגבוהות; קושי של המערכות להסתגל לסביבות חדשות שבהן לא אומנו; אתגרים בתחום הבטיחות והאמינות של המערכות; אתגרים מוסריים; הטיית הנובעות מן המידע; וכן השימוש במערכות אלו לייצור "מידע כוזב" הנראה מהימן.

אתגרים ביטחוניים ומדיניים – כוללים את מרוץ החימוש הבינלאומי; קושי להסכים על משטרי בקרת נשק בתחום ולהחילם; תלות שתיוצר במערכות אלו, לצד פגיעותן למתקפות סייבר או למניפולציות אחרות. לקטגוריה זו שייכים גם אתגרים "רכים" שהשפעתם אומנם ניכרת על הביטחון הלאומי, לעיתים דרך תחומים עקיפים. בין אלה: סוגיות מוסריות ומשפטיות; השפעה על שוק העבודה והתעסוקה; פוטנציאל לאי-שוויון קיצוני בחלוקת המשאבים בחברה, העלול לערער את היציבות השלטונית. מכל אלה עולות המלצות למדיניות עבור ישראל, שתכליתן לשמר ואף להגביר את יכולותיה בתחום הבינה המלאכותית, להטמיע אותן לשימוש בקרב גורמי הביטחון השונים וכן להיערך להתמודדות עם אתגרי השימוש בטכנולוגיה זו, כדוגמת השימוש

שעושים בה אויביה של ישראל, או לחלופין בהקשרו של מרוץ החימוש בתחום בזירה הבינלאומית. עיקרן:

- **המלצות ארגוניות:** צורך לנסח אסטרטגיה לאומית לבינה מלאכותית ולהקים גוף שיאפשר את ניהולה ברמה הלאומית, מתוך הבנה של חשיבות ודחיפות הטיפול הלאומי בתחום זה. זאת לצד כינונה של תוכנית רב-שנתית בתחום הבינה המלאכותית; יצירה וחיוזוק של מודלים מבניים במערכת הביטחון, שיאפשרו תגובתיות וגמישות בתחום; יצירת גופים, שיטות פעולה ומכלולי עבודה משותפים לאנשי המקצוע העוסקים בתחום בארגוני הביטחון השונים, ולגורמים אחרים בעלי השפעה על ביטחונה הלאומי של המדינה.
- **מחקר ופיתוח:** יש לבחון שילוב מידי של בינה מלאכותית בתחומים טכנולוגיים ביטחוניים, שבהם לישראל יש כבר עכשיו יתרון יחסי (למשל תחום המל"טים), על מנת לייצר מכפיל כוח על בסיס ידע והשקעות קיימים; מומלץ להשקיע במחקרי עומק במערכת הביטחון ולהימנע מהסתמכות בלעדית על האקדמיה בתחום זה; יש לתעדף מחקר ופיתוח של בינה מלאכותית בתחומים המוגדרים כעשויים לספק יתרון מתמשך; מומלץ לקדם פיתוחים ביטחוניים על בסיס טכנולוגיות בינה מלאכותית אזרחית קיימות וכן פיתוח יכולות נגד של בינה מלאכותית להגנה והתקפה; ועוד.
- **תקצוב ויצירת תשתיות לאומיות:** בין היתר, יש ליצור פתרון מקיף למחסור הבולט בתשתיות לאומיות בתחום הבינה המלאכותית; להקצות תקציב ייעודי מתמשך לתחזוקה בכל הקשור לתחום; וכן להגדיר תחומי מחקר למימון בתקציב ממשלתי.
- **תחום משאבי אנוש:** נדרש לבחון ניהול משאבי אנוש ברמה הכלל-מערכתית, בשונה מהרמה הפנים-ארגונית שבה הוא מתנהל כיום; יש לבחון השתלבות של מערכת הביטחון בהכשרות קיימות וביצירת הכשרות חדשות; יש להכשיר כוח אדם לא-טכנולוגי להיכרות עם התחום, עם יכולותיו ועם מגבלותיו.
- **מוסר, חקיקה, תקינה ונוהלי בטיחות:** מומלץ להקים ולבסס יכולת ליצירת תקנים ופיקוח על בטיחות בבינה מלאכותית; לפתח נורמות ועקרונות לבטיחות ולאחריות בשימוש בבינה מלאכותית במערכת הביטחון; להגדיר קוד אתי למערכת הביטחון בהקשר של בינה מלאכותית, ובמיוחד בהקשר של צוותי אדם-מכונה; יש להגדיר סיווג ותקינה של מערכות בינה מלאכותית למטרות של שילוביות, בטיחות והיכולת לנהל דיון משותף בין גופים וארגונים שונים, כמו גם תהליכים סדורים אל מול התעשיות; הגדרת תקינה בקשר למחקר בתחום אדם-מכונה.
- **שיתוף ידע:** ההמלצה העיקרית היא להגביר את שיתוף הידע במערכת הביטחון של ישראל באמצעות יצירת מנגנונים קבועים, במטרה למנוע כפילות ולהוביל ליצירת פתרונות מותאמים, הנדרשים עקב מגבלת תקציב וכוח אדם בתחום. יש לבסס תהליכי שיתוף ידע מתמשכים עם מערכות נוספות.

• **היבטים בינלאומיים, דיפלומטיים ומודיעניים:** יש לעקוב באורח סדור ברמה הלאומית אחר המתרחש במערכת הבינלאומית בתחום, כדי להתאים את המדיניות ולשמר את היתרון הקיים בתחום; לפעול לחיזוק המחקר המשותף ושיתופי פעולה נוספים בין ישראל לבין מדינות אחרות; ולבחון אם, כיצד ואילו יישומי בינה מלאכותית צריכה המדינה להגביל באמצעות אמנות.

לסיכום, ישראל נדרשת לגבש מדיניות בתחום הבינה המלאכותית, על מנת לגרוף הישגים משמעותיים בתחום ולא להשאיר תחום חשוב כל כך ורווי אתגרים לפעילותם של כוחות השוק בלבד. לאור קצב הפיתוח המהיר והתחרות הבינלאומית קיימת חשיבות למהירות קבלת ההחלטות בנושא, לכמות המשאבים שתוקצה לשם ביצוען ולאופן הפיקוח והניהול של המשימות המרובות השייכות לתחום. טיפול בכל הנושאים הללו יחד עשוי לחולל השפעה מכרעת על עוצמתה העתידית של ישראל, בכלל זאת על כלכלתה ועל יכולתה לשמר ולשפר את הביטחון הלאומי שלה.

הקדמה: בינה מלאכותית – למה עכשיו?

בינה מלאכותית היא שם כולל לדרכי שימוש במידע ובמערכות מחשב, המאפשרות להציג התנהגות שנראית אינטליגנטית, או ליצור ידע ותובנות שלא היו קיימים קודם לכן. טכנולוגיה זו מהווה תחום חשוב ופורץ דרך משום שבפעם הראשונה בהיסטוריה, יכולות שנחשבו באופן מסורתי לאנושיות בלבד כגון הבנה, הנמקה, תפיסה או תקשורת, ניתנות לביצוע על ידי תוכנה ביעילות, במחיר לא־גבוה ובקנה מידה רחב, במגוון יישומים ושימושים. המיכון של יכולות אנושיות אלה יוצר הזדמנויות חדשות ומשפיע על תחומים רבים ובתוכם, באופן בולט, גם הביטחון הלאומי.

ניתן לטעון שכיום מתחוללת מהפכה של ממש בתחום הבינה המלאכותית, לאחר שבמשך עשורים רבים הוא התפתח באיטיות רבה ולעיתים אף דרך במקום. הדבר מתאפשר עקב יכולות חדשות בתחום החומרה וכן זמינות של מאגרי נתונים, שירותי מחשב בענן ויכולות נוספות. כל אלה מאפשרים כיום את מה שבעבר היה תאורטי בלבד, או אפילו נחשב בלתי אפשרי. כך, בהתבסס על טכנולוגיה זו, מתאפשרים כיום מוצרים ושירותים ובהם כלי רכב אוטונומיים, אבחנה רפואית ממוחשבת, אינטראקציה קולית בשפה טבעית בין אדם למחשב, מערכות תכנון ואופטימיזציה והמלצה על שירותים ומוצרים בהתבסס על פעולות קודמות.

מקובל להעריך כי לבינה מלאכותית תהא יכולת להגביר את קצב הצמיחה הכלכלית, למצוא מזור למחלות ולשפר את מערכות הבריאות, לשפר את יעילות התחבורה ואת בטיחותה, לעודד יעילות אנרגטית ולשפר את הבנת תופעות האקלים, ואולי אף להוביל ליציבות מבוססת שלום בזירה הבינלאומית, בין היתר באמצעות הרתעה. מומחים מעריכים כי בעתיד בינה מלאכותית תשנה את חיינו לבלי הכר, כאשר תשתלט על מגוון פעולות מוכרות ותאפשר מגוון רחב של יכולות ויישומים חדשים. אלה המעריכים את ההתכונות של 'בינה מלאכותית כללית' אף סבורים שיכולותיה יעלו על אלו של בני האדם בכל התחומים, וישנו את העולם מקצה לקצה. לכן מתחולל כיום מרוץ בין חברות ומדינות אחר השגת יכולות בתחום הבינה המלאכותית, והתופעה נותנת את אותותיה בתחומים כלכליים ובינלאומיים.

ככל שגדלה תפוצתה של הבינה המלאכותית לתחומים ומחוזות חדשים וככל שגדל הפוטנציאל שלה, כך הולך ונפער הפער בין מי שמוביל במרוץ לבין מי שמפגר מאחור. יתר על כן, התחום מוביל למאבקים על כישרונות בתחום, על ידע ועל היכולת לייצר ערך או לפרוץ גבולות חדשים. הבינה המלאכותית לצד תחומים נוספים, לרבות האינטרנט של הדברים ונתוני עתק, עתידה ליצור מהפכה תעשייתית חדשה בקנה מידה הגדול ביותר בהיסטוריה. כבר כיום ניתן לחזות בניצני המהפכה בתחומים שונים של שירותים ומוצרים שאליהם חודרת הבינה המלאכותית ומשנה אותם מן היסוד. ההבנה שבינה מלאכותית כבר אינה טכנולוגיה עתידנית או עתידית אלא דרישת יסוד בהווה שבו אנו חיים החלה לחלחל בשנים האחרונות במדינות ובארגונים רבים. מנהיגים מובילים את הארגונים והמדינות שעליהם הם אמונים להשקעות, לפיתוח ולהטמעת השימוש בבינה מלאכותית. התפתחות זו מביאה בחלק מהמקרים לתחרות, ובמקרים אחרים אף למרוץ חימוש של ממש.

גם בזירה הביטחונית ניכרת השפעתם של יישומי בינה מלאכותית. לבינה מלאכותית השפעה נרחבת למשל על יישומים צבאיים ועל היכולת לייצר או לשמר עליונות צבאית. הדבר ניכר בשימוש בטכנולוגיות בינה מלאכותית בתחומים לרבות מודיעין, רובוטיקה מתקדמת, לוחמת סייבר והגנת סייבר, שהם כיום פורצי הדרך בשימוש ביכולות אלו. ישראל היא אחת המדינות המובילות בעולם בפיתוח בינה מלאכותית. מעמדה זה בא לידי ביטוי הן במספר חברות ההזנק (סטארט-אפ) הפועלות בישראל והן בכניסה של חברות בינלאומיות לישראל לשם הקמת מרכזי פיתוח בתחום. יתר על כן, הנושא אינו משפיע רק על היבטים כלכליים בישראל, וכיום הוא כבר תופס נתח נכבד מן הזירה הביטחונית. ישראל, הנדרשת להתמודד עם מגוון רחב של אתגרים ביטחוניים, נסמכת זה כמה עשורים על טכנולוגיה מתקדמת לביסוס ולשימור הביטחון הלאומי שלה. נוסף על כך, בישראל אין כמעט משאבים טבעיים (למעט כמות מסוימת של גז) ועיקר כלכלתה נסמכת על תעשיית ההיי־טק, היצוא הביטחוני ומספר תחומים צרים נוספים. בינה מלאכותית מציעה יכולת להתמודד עם אתגרים אלו וגם עם אתגרים עתידיים, ולאפשר לישראל לשמר את מעמדה הכלכלי, הבינלאומי והביטחוני, ואולי אף לשפר אותו.

משום כך ישראל נדרשת לגבש מדיניות בתחום כדי להשיג הישגים אלו, ולא להשאיר זירה חשובה כל כך ורוויית אתגרים לפעילותם של כוחות השוק בלבד. לאור קצב הפיתוח המהיר של הטכנולוגיה והתחרות הבינלאומית, קיימת חשיבות למהירות קבלת ההחלטות בנושא, בכלל זאת להיקף המשאבים שיוקצה ליישומן ולאופן הפיקוח והניהול. בהתחשב בקצב ההתפתחות של הטכנולוגיה בעולמנו ובעוצמת השפעתה, מדינת ישראל אינה יכולה להרשות לעצמה להתעכב, שכן לכישלון בתחום עשויים להיות השלכות כבדות משקל ומחירים גבוהים.

רבים לקחו חלק בגיבוש החומרים, הידע וההמלצות המופיעים במחקר זה. עם זאת, האחריות לכל טענה או טעות המופיעה כאן היא של המחברת בלבד.

בהזדמנות זו, מחברת המחקר מבקשת להודות למנהלי המכון למחקרי ביטחון לאומי שאפשרו את קיומו של המחקר והקצו לו את המשאבים הנדרשים, ובמיוחד למנהל המכון תת-אלוף (מיל') אודי דקל, על שסייע ותמך רבות במחקר ובהופעתו של פרסום זה, מתוך הבנת חשיבות הנושא.

תודתי הרבה לחברי ועדת המומחים שכונסה לצורך המחקר, אשר תרמו מידיעותיהם, מזמנם ומממצאם למחקר זה: מר אורי אליאבייב, יועץ בתחום הבינה המלאכותית ומייסד Machine & Deep Learning Israel; תת-אלוף (מיל') איתי ברון, סגן ראש המכון למחקר, המכון למחקרי ביטחון לאומי (INSS); אלישע סטואין, ראש תחום סריקת האופק במשרד לענייני מודיעין; גב' גיל ברעם, מנהלת המחקר בסדנת יובל נאמן למדע, טכנולוגיה וביטחון, אוניברסיטת תל-אביב; סא"ל חן וייץ, CDO, אגף התקשוב צה"ל; טל, מנהל קבוצת ה-Data Science, משרד ראש הממשלה; סא"ל ערן דהן, ראש ענף בינה מלאכותית, מפא"ת; ד"ר שמואל אבן, חוקר בכיר, המכון למחקרי ביטחון לאומי (INSS); תת-אלוף (מיל') ד"ר ששון חדד, חוקר בכיר, ראש התוכנית לכלכלה וביטחון לאומי, המכון למחקרי ביטחון לאומי (INSS); ואורי פרידמן, מתמחה בתוכנית שסייע בסקירה ובגיבוש של חומרים למחקר.

תודה מיוחדת לחברי הוועדה אל"ם (מיל') בעז זלמנוביץ, לשעבר ראש ענף תו"ל בסיסי באמ"ץ-תוה"ד; ודורון בן דוד, ראש תחום בינה מלאכותית בחברת "מטריקס", שנוסף על הכול העירו על הגרסאות השונות של החיבור ותרמו רבות לשיפורו של המסמך הסופי.

תודתי שלוחה גם לד"ר ענת קורץ ולד"ר גליה לינדנשטראוס, שעמלו רבות על עריכתו ושיפורו של חיבור זה, ולמירה ילין על העריכה הלשונית.

תודתי והערכת הרבה נתונות לענבר דולינקו, עוזרת המחקר בתוכנית, שעשתה לילות כימים בניהול עבודת הוועדה המלווה, בסקירת חומרים, בכתובה ובעריכה, והשפיעה רבות על אופיו ותוכנו של מסמך זה. עבודתה המסורה תרמה רבות למחקר זה ולעבודת התוכנית בכלל.

אחרונים חביבים, אני מבקשת להודות לבני משפחתי ולמיכאל בעלי, שתמכו בי בעת הכתיבה וסייעו למצוא משאבי זמן גם בתקופות מאתגרות, ולרום בני הבכור שנולד בסיום העבודה על מחקר זה, ולו אני מאחלת מכל ליבי שיגדל לעולם שבו הטכנולוגיה משמשת כמה שפחות למלחמות, וכמה שיותר לשיפור העולם שבו אנו חיים.

ד"ר לירן ענתבי, יולי 2020

מבוא

בעידן הנוכחי, שינויים טכנולוגיים מתחוללים בקצב המהיר ביותר בהיסטוריה וחלקם בעלי השפעה מכרעת על מדינות, חברות ופרטים. בתוך כך, בינה מלאכותית היא תחום טכנולוגי הולך ומתפתח, שנודעת לו השפעה מהפכנית כמעט על כל היבטי החיים. תחום טכנולוגי זה, שהיה בתחילת הדרך ענף של מדעי המחשב, הולך ותופס בשנים האחרונות מקום של כבוד בזירה הבינלאומית ומהווה מוקד לתחרות בין חברות ומדינות. התפתחות זו מתחוללת לצד פריצות דרך בתחומים טכנולוגיים ומדעיים נוספים ובהם מחשוב ענן, נתוני עתק, רובוטיקה מתקדמת ומכוניות ללא נהג, ונראה כי כבר בעתיד הקרוב עולמנו ישתנה בעקבות אותן התפתחויות.

השימוש במערכות, ביישומים ובשירותים מבוססי בינה מלאכותית הולך וגובר, וכיום מדינות, חברות וגורמים ביטחוניים רבים מסתמכים על כל אלו לצורכיהם. בין השימושים האזרחיים בבינה מלאכותית ניתן למנות למשל אפליקציות ניווט, אלגוריתמים המציעים סחורות או שירותים מותאמים, יישומים בתחומי הבנקאות והסחר הפיננסי, מערכות בתחומי אחזקה ולוגיסטיקה. מערכות מבוססות בינה מלאכותית נפוצות גם בזירה הביטחונית, וכבר כיום קיימים תחומים ביטחוניים רבים שבהם נעשה שימוש במערכות בינה מלאכותית. בין אלו ניתן למנות את המודיעין, הלוגיסטיקה, פיקוד שליטה ותקשורת, מערכות צבאיות אוטונומיות לרבות מערכות נשק, וכן לוחמת סייבר.

בינה מלאכותית כבר אינה טכנולוגיה עתידנית אלא דרישת יסוד בהווה שבו אנו חיים. את התובנה הזו הפנימו גם מנהלים ומנהיגים רבים, אשר מובילים ארגונים או מדינות ומאמצים מדיניות של עידוד פיתוח והשקעות בבינה מלאכותית. עם זאת, בצד היתרונות שמביאה איתה הבינה המלאכותית שוכנים גם אתגרים רבים בכל הקשור לפיתוח, לשימוש ולהשפעות הנלוות שלה. אתגרים אלו צריכים להדאיג ולהיות במרכז תשומת הלב של מנהיגים המבקשים להשפיע בתחומי אחריותם, אך גם על העולם שבו אנו חיים.

לחיבור זה שתי מטרות מרכזיות:

הראשונה – להוות "מורה נבוכים" להיכרות עם סוגיות ליבה ומונחים הקשורים לבינה מלאכותית ולביטחון לאומי עבור מפקדים, מנהלים ומקבלי החלטות. לשם כך נכתבו מספר פרקי מבוא מפורטים בניסיון להנגיש סוגיות מורכבות, ביניהן גם נושאים טכניים.

השנייה – להמליץ על מדיניות בינה מלאכותית בתחום הביטחון הלאומי, מתוך הנחה מבוססת כי בינה מלאכותית היא יכולת יסוד הנדרשת לישראל, וכי עליה לשמר ולחזק את יכולתיה ומעמדה אל מול המרוץ העולמי בתחום והאתגרים האזוריים והאחרים העומדים לפתחה.

החלק הראשון של החיבור מציג את הטכנולוגיה ואת יישומיה הביטחוניים תוך הצגת הרקע ההיסטורי, תחומים טכנולוגיים הכרוכים בבינה מלאכותית ויישומים ביטחוניים, וכן את סוגיית 'בינה מלאכותית כללית'.

החלק השני מציג סוגיות הקשורות לבינה מלאכותית ולזירה הבינלאומית, כולל סקירה בנוגע למצב הפיתוח והשימוש בבינה מלאכותית במדינות המובילות בעולם, השפעות אפשריות של הטכנולוגיה על הזירה הבינלאומית, וכן את הלקחים שניתן ללמוד בנוגע לבינה מלאכותית ולזירה הבינלאומית ממקרה המבחן של שימוש במערכות הנשק האוטונומיות.

החלק השלישי מתייחס לבינה מלאכותית בהקשר של הביטחון הלאומי של ישראל והוא כולל סקירת מצב, סקירה של המושג 'הביטחון הלאומי של ישראל' והקשר בין בינה מלאכותית לביטחון לאומי ולאסטרטגיית צה"ל. כמו כן, הפרק מפרט את האתגרים הרבים בפיתוח, בהטמעה ובשימוש בבינה מלאכותית בישראל בארבע קטגוריות מרכזיות: אתגרים טכניים, אתגרים ארגוניים, אתגרים בשימוש, וכן אתגרים ביטחוניים, מדיניים ועקפים לביטחון הלאומי.

החלק האחרון מסכם וממליץ על המדיניות הנדרשת במטרה לחזק ולשמר את הביטחון הלאומי של ישראל, בהתבסס על יכולות בינה מלאכותית.

בגיבוש המחקר נעשה שימוש במגוון מקורות ראשוניים ומשניים לרבות מחקרים אקדמיים, מסמכי מדיניות, ראיונות עם מומחים ואנשי מקצוע, וכן במסקנות שהתגבשו במסגרת פגישות של ועדת המומחים שכונסה לצורך המחקר. עבודת הוועדה הורכבה מדיונים בנושאים השונים המרכיבים את החיבור. תוכן הדיונים סייע לכותבת המחקר בהבנה מעמיקה של הנושא על היבטיו בארגוני הביטחון השונים, בתעשיות ובחברות האזרחיות, וכן בהבנה מעמיקה של הטכנולוגיה ושל היכולות שהיא מאפשרת. על

בסיס דיוני הוועדה עוצבה ההמשגה בחיבור זה, גובשה רשימת האתגרים והותוו ההמלצות למדיניות רצויה בנושא.

ההמלצות למדיניות יצביעו על מספר תחומים מרכזיים שבהם על ישראל לפעול על מנת לשמר ולשפר את ביטחונה הלאומי באמצעות בינה מלאכותית: התחום הארגוני; תקצוב, מימון ותשתיות לאומיות; בטיחות, משפט ומוסר; חקיקה ותקינה; שיתוף ידע; היבטים בינלאומיים, דיפלומטיים, מודיעיניים ושיתופי פעולה; משאבי אנוש – השכלה והכשרה.

יישום חלק מן ההמלצות ידרוש הקצאת תקציבים גבוהים ושינויים ארגוניים ניכרים, בעוד יישומן של אחרות לא יצריך תקציב גבוה והן ניתנות למימוש בטווח זמן קצר. עם זאת מובן כי בתחום בעל חשיבות גבוהה כל כך, המשפיע על מגוון היבטים והמאופיין בקצב התפתחות מהיר, יש צורך בגוף מתכלל אשר ירכז את הפעילות בתחום, יתקצב וינחה אותה ברמה הלאומית, כשם שנעשה למשל בתחום הסייבר. הדבר יאפשר לישראל לשמר ואף לשפר את מעמדה כמובילה עולמית טכנולוגית תוך שימוש ביתרונה היחסי, על מנת להשפיע לטובה על ביטחונה הלאומי.



בינה מלאכותית ויישומיה הביטחוניים

”

ללא ספק, הסיכון הגדול ביותר בבינה מלאכותית,
הוא שאנשים מסיקים מוקדם מדי שהם מבינים אותה.

“

אליעזר יודובסקי, חוקר בינה מלאכותית וסופר אמריקאי

פרק 1

מהי בינה מלאכותית?

המונח **בינה מלאכותית** מיוחס לג'ון מקארתי, מדען מחשב וחוקר בתחום המדעים הקוגניטיביים, שבשנת 1956 ארגן את הכנס האקדמי הראשון בנושא. תחילת הדרך מעט מוקדמת יותר ובין האבות המייסדים מקובל למנות את וניבר בוש (Vannevar Bush), שכבר בשנת 1945 הציע מערכת שתגביר ידע והבנה אנושיים, ואת אלן טיורינג, שבשנת 1950 כתב מאמר על מסוגלות של מכונות לדמות בני אדם ועל יכולתן לבצע פעולות אינטליגנטיות דוגמת משחק שחמט.¹ מי שנחשב גם הוא בין האבות המייסדים הוא מרווין לי מינסקי, שהוכשר כד"ר למתמטיקה והיה מעורב במחקרים, בהמצאות ובפיתוחים רבים בתחום. מינסקי הוא שטבע את ההגדרה הפופולרית לבינה מלאכותית: "לגרום למכונה להתנהג בדרך שהייתה נחשבת לאינטליגנטית לו אדם התנהג כך".² בתחילת הדרך של חקר הבינה המלאכותית שלטה הפרדיגמה ה"סימבולית", ששאפה לשכפל חשיבה אנושית ברמה גבוהה. עם השנים היא הוחלפה על ידי פרדיגמה "חיבורית", המבקשת לחקות את הבסיס הביולוגי של הקוגניציה האנושית באמצעות רשתות נוירונים מלאכותיות. עם זאת, במאה ה-20 הפרדיגמות הללו לא מימשו ציפיות שהיו תלויות בהן מעבר להדגמות תאורטיות או מעבדתיות, דבר שהוביל למה שמכונה "חורף הבינה המלאכותית", שבמסגרתו צומצמו המחקר וההשקעות בזירה זו לתקופות ארוכות.³

בעשור האחרון, עקב התקדמות בחקר מדעי המחשב וכן בפיתוח חומרה ותוכנה בתחומים של מחשוב ותקשורת, יחד עם פריצת דרך במחשוב ענן ונתוני עתק, מתאפשרת התקדמות משמעותית בבינה המלאכותית ובתוכה תת-תחומים דוגמת למידת מכונה ורשתות נוירונים עמוקות (מושגים אלו ייסקרו בהרחבה בהמשך). מחקרים מסוימים אף טוענים כי ההתקדמות ברשתות נוירונים עמוקות משמעותית עד כדי כך שתת-תחום זה נחשב כמעט לשם נרדף למונח בינה מלאכותית.⁴

מרבית היישומים הנפוצים בבינה המלאכותית כיום שייכים לתת-תחום שנקרא למידת מכונה, הכוללת אלגוריתמים סטטיסטיים שמבקשים לחקות משימות אנושיות קוגניטיביות על ידי גזירת חוקים בנוגע אליהן, באמצעות ניתוח כמויות גדולות של

נתונים. האלגוריתם למעשה "מתאמן" על מידע קיים ובמהלך האימון יוצר מעין מודל סטטיסטי משלו, על מנת לבצע את אותה משימה בעתיד על נתונים חדשים שבהם לא נתקל קודם לכן.⁵

בינה מלאכותית שייכת לתחום רחב יותר של מדעי הנתונים, ואכן נחוצים לה נתונים רבים על מנת לפעול בצורה יעילה. מדובר כיום על הצורך בנתוני עתק (Big Data), אשר מספקים זרם סדיר של נתונים ההכרחיים לגזירת תובנות משמעותיות בעזרת אלגוריתמים לומדים. אולם הבינה המלאכותית אינה תלויה רק בנתוני עתק, אלא היא אחד האמצעים היעילים היחידים להפקת ערך וידע מכמות כזו של נתונים, שלצורך ניתוחם נדרשים אלגוריתמים חזקים במיוחד.⁶

חלק ניכר מעבודת האבות המייסדים של הבינה המלאכותית הוא הבסיס התאורטי לאלגוריתמים של למידת מכונה, הנמצאים בשימוש במערכות רבות בנות זמננו ומאפשרים פעולות ובהן זיהוי תמונה ונהיגה אוטונומית.⁷ מערכות אלו שייכות למה שמקובל לכנות בינה מלאכותית צרה או בינה מלאכותית חלשה, וזאת למרות שלעיתים מדובר ביישומים מתקדמים. הכוונה במושג זה היא לאלגוריתמים שנועדו להתמודד עם מקבץ של בעיות ספציפיות וביניהן למשל משחק, זיהוי תמונה או ניווט.⁸ מושג זה שונה מבינה מלאכותית כללית, המתייחסת למערכת המסוגלת להשתמש באינטליגנציה ברמה אנושית במגוון רחב של משימות.⁹ בינה מלאכותית כללית עדיין אינה קיימת, נכון לכתובת שורות אלו, והדעות חלוקות בנוגע ליכולת ליצור כזו לפחות בשני העשורים הקרובים. הבינה המלאכותית שמתפתחת כיום היא בעיקר יישומי למידה עמוקה. טכנולוגיה זו אומנם שייכת לקטגוריה של בינה מלאכותית צרה, אולם היא מאפשרת צורה מדויקת יותר של למידה ממוחשבת ומנגישה שימוש מסחרי נרחב יותר ביישומי בינה מלאכותית.¹⁰

רקע היסטורי: שלושת הגלים הראשונים בבינה המלאכותית

מקובל לחלק את ההתפתחות בבינה המלאכותית לשלושה גלים, בהתבסס על ניתוח התפתחות היכולות של התחום. הסוכנות הצבאית לפרויקטים מחקריים מתקדמים (להלן דארפ"א)¹¹ במחלקת ההגנה של ארצות הברית (DoD) היא אחד הגורמים המובילים בעולם בפיתוח בינה מלאכותית לצרכים ביטחוניים. הסוכנות מגדירה בינה מלאכותית כ"יכולת מתוכנתת לעבד מידע",¹² אולם לצד ההגדרה הפשוטה הזו גם שם מחולק הנושא לשלושה גלים, כאשר כל גל מאופיין על 'סולם אינטליגנציה רעיוני' (Notional Intelligence Scale) שבמסגרתו נמדדת כל אחת מארבע היכולות הבאות בדומה לממדים של אינטליגנציה אנושית:

- חִישָׁה (Perceiving) – היכולת להבחין בהתרחשויות בעולם;
- למידה (Learning) – היכולת ללמוד דברים ולהסתגל לסיטואציות שונות;
- הפשטה (Abstracting) – היכולת לקחת ידע שהתגלה ברמה מסוימת ולהשליך או ליישם אותו על רמה אחרת;
- הנמקה הגיונית (Reasoning) – היכולת לנמק באופן הגיוני או לקבל החלטות בנוגע לדברים באופן הגיוני.

גל ראשון – תיאור 'ידע בעבודת יד'

הגל הראשון מבוסס על 'ידע בעבודת יד' (Handcrafted knowledge), ובו אספו מומחים ידע קיים בנושא מסוים ואפיינו אותו במסגרת חוקים שיכלו להתאים למחשב, שבתורו יכול היה ללמוד את ההשלכות של החוקים הללו.¹³ לדור זה של בינה מלאכותית שייכות למשל תוכנות לוגיסטיות לתכנון פעולות כגון משלוחים, תוכנות לחישוב מיסים ותוכנות שהצליחו לשחק שחמט נגד בני אדם. תוכנות ויישומים ממוחשבים רבים שבהם נעשה שימוש כיום מבוססים על הגל הראשון של הבינה המלאכותית, והתפיסות העומדות בבסיסו עדיין רלוונטיות לשימושים צרים, כפי שקורה בחלק ניכר מן האפליקציות בטלפונים החכמים או בתוכנות דוגמת Office. הדור הזה של הבינה המלאכותית אינו מצטיין בלמידה, אולם לטענת דארפ"א הוא ממשיך להתפתח ולהשיג הישגים רבים, למשל בתחומי הגנת הסייבר, והוא עדיין מאוד רלוונטי גם בימינו.¹⁴ מבחינת דארפ"א, תוצרי הגל הראשון הם בעלי יכולת חִישָׁה ביונית ויכולת להסביר סיבתיות בהיבטים צרים מאוד, אולם הם חסרי יכולת למידה ויש להם יכולת מועטה מאוד להתמודד עם חוסר ודאות.

בינה מלאכותית מהגל הראשון

חישה



למידה



הפשטה



הנמקה הגיונית



מאפשר הנמקות הגיוניות עבור בעיות מוגדרות ומתחומות.

ללא יכולות למידה ויכולת דלה להתמודד עם חוסר ודאות

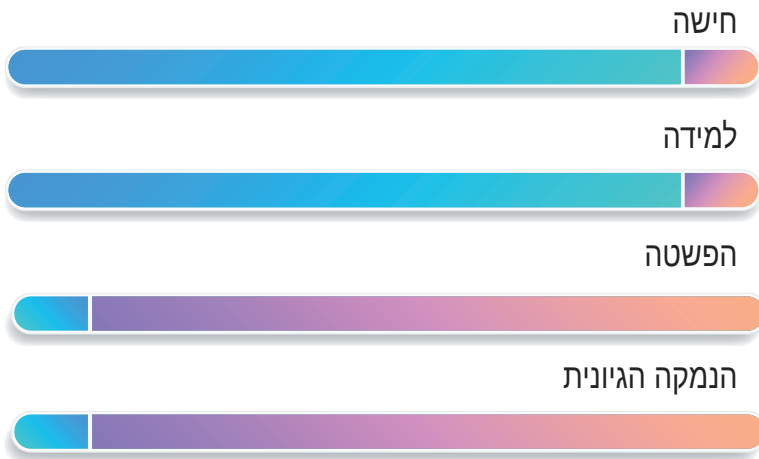
¹⁵ מבוסס על שרטוט מתוך: A DARPA Perspective on Artificial Intelligence

גל שני – 'קטגוריזציה': למידה סטטיסטית

הגל השני הוא 'קטגוריזציה' על בסיס למידה סטטיסטית. נעשה שימוש ביכולות מתקדמות יותר שהתאפשרו בזכות תחילת השימוש בלמידת מכונה, שבמסגרתה נסמכים האלגוריתמים על למידה סטטיסטית מבוססת נתוני עתק. בגל זה, בשונה מהגל הקודם, אין מלמדים את המחשב כללים קבועים אלא מפתחים מודלים סטטיסטיים עבור בעיות שונות, ואז "מאמנים" את האלגוריתמים על דוגמאות רבות, עד שהם מגיעים לרמת הדיוק הרצויה. תוצרי גל זה הם שמאפשרים זיהוי קולי או זיהוי פנים בטלפונים ניידים, או למשל "בוטים" המספקים שירות לקוחות באמצעות התכתבות בצ'טים באינטרנט.

במסגרת גל זה התאפשרה תחילתה של הנהיגה האוטונומית, כפי שהודגמה במסגרת אתגרים בדארפ"א בשנים 2004 ו-2005. עם זאת, לבינה מלאכותית מהדור הזה אין יכולת להבין את הכללים או את הסיבתיים שמאחורי הפעולות שהיא מבצעת, ולכן היא ניתנת להטיה או למניפולציה. עקב התפתחות שנרשמה בשנים האחרונות נוספו שימושים רבים לבינה מלאכותית מהדור הזה, ביניהם מערכות לניתוח או לתרגום טקסט, תוכנות 'עוזר אישי' בטלפון חכם וגם יכולת לשחק משחקים מאתגרים דוגמת משחק האסטרטגיה הסיני 'גו'. הגל השני מתאפיין, לפי דארפ"א, ביכולת לקטלג דברים על פי ניואנסים וביכולת חיזוי, אולם התוצרים חסרי יכולות הקשריות ובעלי יכולות מינימליות של הנמקה הגיונית.

בינה מלאכותית מהגל השני



יכולות סיווג וחיזוי מורכבות

אין יכולת לבצע הקשרים וקיימת יכולת הנמקה הגיונית מינימלית

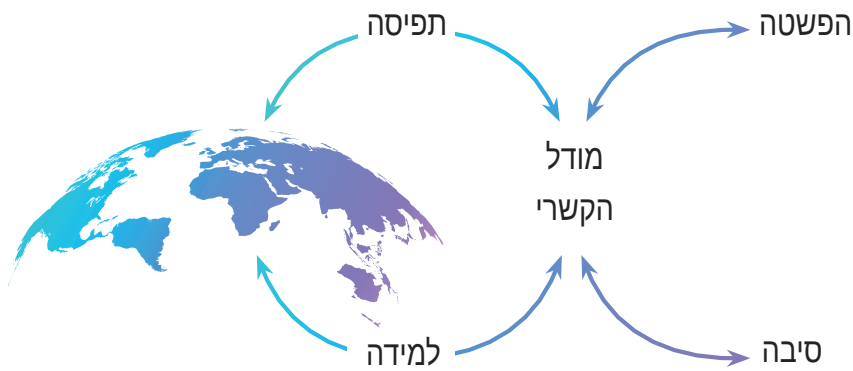
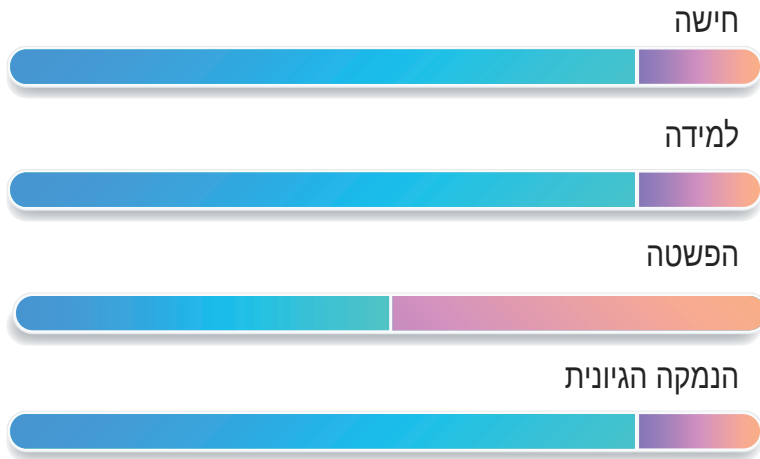
¹⁶ מבוסס על שרטוט מתוך: A DARPA Perspective on Artificial Intelligence

גל שלישי – הסברי: הסתגלות הקשרית

הגל שלישי הוא גל הסברי הנמצא כיום בשלבי פיתוח ומבקש לאפשר 'הסתגלות הקשרית' (Contextual Adaption). האלגוריתמים או המערכות המבוססים על גל זה מנסים לגבש בעצמם מודלים שיסבירו נושאים מסוימים. בדארפ"א מצפים כי מערכות שייבנו סביב מודלים הקשריים ילמדו בעצמן כיצד מודלים שונים צריכים להיות מובנים. כך יתאפשר למערכות להשתמש במודלים עבור מתן הסברים וקבלת החלטות בנוגע לסוגיות ולנושאים שונים. יכולות אלה שונות במידה משמעותית ממרבית האלגוריתמים, הפועלים כיום כ"קופסה שחורה" ויוצרים אתגר בהסברתיות (Explainability) בנוגע לאופן הגעתם למסקנות (נושא שעל אודותיו יורחב בחלק העוסק באתגרים). כך יאפשרו יכולות אלה שימוש במידע באופן מופשט והעברתו צעד קדימה, אולם כיום היכולות של המערכות הללו עדיין מוגבלות.¹⁷ התקווה היא שתוצרי גל זה יהיו "אנושיים" יותר ובין היתר יאפשרו תקשורת בשפה טבעית, יהיו מסוגלים ללמד ולאמן את עצמם (כמו למשל תוכנת 'אלפא-גו' שאימנה את עצמה באלפי משחקי 'גו' נגד עצמה), וכן יכללו יכולות איסוף מידע ממספר מקורות שונים וגיבוש מסקנות מוסברות היטב.¹⁸ על פי הסוכנות, הגל הזה אמור לשפר מאוד את היכולות בתחומים חישה, למידה והנמקה, אך התוצרים בכל זאת ימשיכו להיות בעלי יכולות בינוניות בלבד בתחום ההפשטה.

טכנולוגיות שכבר מתחילות להופיע כיום בהקשר לגל זה הן למשל טכנולוגיות "עוזרות חכמות" המתקדמות ביכולת הסיוע שלהן ביחס לטכנולוגיות של הדור השני, וביניהן סירי ואלקסה.¹⁹ דוגמה נוספת היא תוכנת Google Duplex, המסוגלת להזמין תורים (למשל מקום במספרה או במסעדה) תוך ניהול שיחה קולית קוהרנטית עם נציגי שירות אנושי. מלבד המשימות שתוכנה זו יכולה לבצע באופן אוטונומי, היא גם יודעת לזהות ולאותת למשתמש בה על משימות שהיא אינה מסוגלת לבצע בעצמה.²⁰

בינה מלאכותית מהגל השלישי



²¹ מבוסס על שרטוט מתוך: A DARPA Perspective on Artificial Intelligence

בנפרד מהחלוקה לגלים, באופן כללי בינה מלאכותית היא מושג המתייחס בכלליות לחומרה או לתוכנה או לשילוב ביניהם, אשר מסוגלים להציג התנהגות שנראית אינטליגנטית. עם זאת, כמעט כל מחקר או מאמר מהשנים האחרונות העוסק בבינה מלאכותית, ובעיקר בבינה מלאכותית וביטחון לאומי, פותח בעובדה שכיום לא קיימת הגדרה אחת מוסכמת למונח בינה מלאכותית.

הבעיה בניסוח הגדרה אחת מוסכמת לבינה מלאכותית נובעת משתי סיבות עיקריות: הראשונה היא הגישות השונות והמגוונות לחקר התחום;²² השנייה היא הקושי הבסיסי להגדיר או להסכים על הגדרת המונח 'בינה' או 'אינטליגנציה', עקב גבולות שטרם נפרצו בחקר מדעי המוח (וגם הפילוסופיה), ולכן מוגבלת היכולת לבחון מושגים אלה ביחס למכונות או להשליך אותם עליהן. חרף הקושי הזה ייבחנו אפשרויות שונות להגדרה, ותוצג הגדרה שתשמש את הדיון בחיבור זה ואת ההמלצות למדיניות שינוסחו על בסיסו.

בינה מלאכותית – הגדרה אופרטיבית

אחת ההגדרות הידועות לבינה מלאכותית, שכבר הוצגה, נוסחה על ידי מרווין לי מינסקי: "לגרום למכונה להתנהג בדרך שהייתה נחשבת לאינטליגנטית לו אדם התנהג כך".²³ יתרונה הוא בהיותה רחבה מספיק ועל כן מסוגלת לכלול רעיונות, שיטות ואמצעים שונים. ואולם, חסרונה המרכזי הוא השימוש במונח 'אינטליגנטי' בהקשר האנושי – מונח שטרם הוגדר ואופיין בצורה חד-ערכית על ידי הדיסציפלינות המדעיות העוסקות בנושא. יתרה מכך, כאשר מעוניינים להגדיר את הדיסציפלינה עבור הביטחון הלאומי ולהמליץ על מדיניות לגביו, יש צורך בהגדרה דיכוטומית יותר שתאפשר החלטה באשר לנכלל בה ולמה שאינו לרווטי לה.

נטען למשל כי "בינה מלאכותית היא כלי רחב היקף המאפשר לאנשים לחשוב מחדש על האופן שבו נקלט מידע, מנותחים נתונים ומיושמות תובנות הנובעות מכך, כדי לשפר קבלת החלטות". מחברי המחקר הגורס זאת, דארל ווסט וג'ון אלן, סבורים כי אף על פי שאין הגדרה אחידה מוסכמת, נכון להתייחס לבינה מלאכותית כאל "מכונות המגיבות בעקביות לגירוי, בתגובות מסורתיות המיוחסות לבני אדם, בהינתן היכולת האנושית להתבונן, לשפוט ולהתכוון".²⁴ לשיטתם, בינה מלאכותית תלויה בנתונים שניתן לנתחם בזמן אמת ואשר יוכלו להשפיע על בעיות קונקרטיות. תנאי הכרחי לפיתוח בינה מלאכותית מוצלחת, בראייתם, הוא קיומם של נתונים "נגישים לחקירה" בקהילת המחקר.²⁵

לפי שובהנדו שוקלה וויג'יי ג'יסוואל, יישומי בינה מלאכותית "מקבלים החלטות שלרוב דורשות רמת מומחיות אנושית" ועוזרים לאנשים לצפות בעיות או להתמודד עם סוגיות שעולות. כך הם פועלים באופן מכוון, אינטליגנטי ואדפטיבי.²⁶

לאחר הדיון בכמה מן ההגדרות התאורטיות, ראוי לבחון כיצד גורמים העוסקים במחקר ופיתוח או ברגולציה וחקיקה של בינה מלאכותית מגדירים אותה לשם עיסוק פרקטי בה. חרף ההגדרה הכללית של דארפ"א שהוזכרה קודם – "יכולת מתוכנתת לעבד מידע",²⁷ חשוב להבהיר כי לא כל מערכת מחשוב עושה שימוש בבינה מלאכותית. אלגוריתמים של בינה מלאכותית מעוצבים לצורך קבלת החלטות ועושים זאת לרוב באמצעות שימוש בנתונים המוזנים להם בזמן אמת. כאשר הם נמצאים בשימוש על גבי מערכות שונות, לא מדובר במכונות פסיביות שמסוגלות לתגובות מכניות או קבועות מראש בלבד, כפי שהורגלנו בעידן של אוטומציה (כמו דלתות אוטומטיות, או אפילו תוכניות שונות במכונת הכביסה), אלא מדובר במכונות שבעזרתן חיישנים, נתונים דיגיטליים ואפילו קלטות (inputs) מרוחקים מסוגלות לשלב את המידע ממקורות שונים, לנתחו מייד ולפעול בהתאם לתובנות הנגזרות מן הנתונים. כך מתאפשרים תחכום ומהירות בקבלת הנתונים, שלא התאפשרו קודם לכן.²⁸

מבחינת הממשל האמריקאי לא קיימת הגדרה אחת רשמית לבינה מלאכותית, וסוכנויות שונות עשויות להגדירה באופן שונה ורלוונטי לצורכיהן. אולם, סדרת חוקים המסדירה את תקציב משרד ההגנה האמריקאי (FY2019 National Defense Authorization Act) מספקת הגדרה של בינה מלאכותית לשם חקיקת סעיף 238, שעוסק במחקר ופיתוח של התחום:²⁹

- כל מערכת מלאכותית שמבצעת משימות, בנסיבות משתנות ולא צפויות, ללא פיקוח אנושי משמעותי, או שביכולתה ללמוד מניסיון ולשפר את ביצועיה כאשר היא נחשפת למאגרי נתונים.
- מערכת מלאכותית המפותחת בתוכנת מחשב, בחומרה פיזית או בהקשר אחר, הפותרת מטלות שדורשות תפיסה, קוגניציה, תכנון, למידה, תקשורת או פעולה פיזית הדומים לאלו של אדם.
- מערכת מלאכותית שמתוכננת לחשוב או לפעול כמו בן אדם, וכוללת ארכיטקטורה קוגניטיבית ורשתות נוירונים.
- קבוצת טכניקות הכוללות למידת מכונה שמתוכננת להעריך מטלה קוגניטיבית.
- מערכת מלאכותית המתוכננת לפעול באופן רציונלי כגון 'תוכנת סוכן אינטליגנטי' (Intelligent Software Agent) או רובוט, שמגשימים מטרות בעזרת שימוש בתפיסה, תכנון, הנמקה, למידה, תקשורת, קבלת החלטות ופעולה.

הגדרה זו מפורטת למדי ואכן מתאימה למטרות חקיקה. היא גם מסייעת, בהשוואה להגדרות אחרות, להחליט אילו תחומי תכנות ומחשוב אינם שייכים לדיסציפלינת הבינה המלאכותית. עם זאת היא ארוכה וטכנית למדי. לאור מטרותו של חיבור זה – להנגיש את הידע על בינה מלאכותית למקבלי החלטות וכן להמליץ על מדיניות

בתחום הביטחון הלאומי – הוא נדרש להגדרה קצרה ופשוטה יותר כמו זו של דארפ"א. הגדרה זו הולמת את מטרות חיבור זה יותר מאשר הגדרתו של מינסקי, למשל, משום שאינה מתייחסת לסוגיית האינטליגנציה האנושית השנויה במחלוקת, ולמעשה היא מאפשרת להכליל במסגרתה מגוון יישומים או שיטות עיבוד המקובלות כיום ואף להשאיר פתח להתפתחויות עתידיות, בלי להכביד בפרטים טכניים שהבנתם דורשת מומחיות. אפילו אם הגדרה זו עשויה לאפשר במסגרתה הכללה של יכולות "נחותות" של מחשוב ועיבוד, כפי שהוסבר בחלוקה לגלים, חלק מן השיטות והתפיסות של הגל הראשון עדיין שימושיות ביותר בתחומים וביישומים שונים, ועל כן יש בכך ערך. ואולם, במקרים שנחוץ למקבלי החלטות לצמצם את רוחב היריעה על מנת לבחון אם פיתוח כלשהו עונה להגדרה של בינה מלאכותית או לא, אפשר להתייחס לבינה מלאכותית כאל אפשרות ליצירת ידע ותובנות שלא הייתה קיימת קודם לכן, מתוך מידע ובאמצעות מכונות ומחשבים. הגדרה זו, המתמקדת ביכולת מתוכנתת לעבד מידע ואשר עלתה בדיוני הוועדה המייעצת למחקר זה, מבחינה בין חלק ניכר מיישומי הבינה המלאכותית לבין יישומי מחשוב באופן כללי, ומאפשרת צמצום ההגדרה הכללית באופן שעדיין יכול לכלול מספר רב של יישומים ולשרת מגוון רב של תחומים, תוך דגש על יצירה של ידע חדש.

ולכן, ההגדרה המנחה חיבור זה היא: **בינה מלאכותית היא שימוש במידע ובמערכות מחשב, המאפשר להציג התנהגות שנראית אינטליגנטית או ליצור ידע ותובנות שלא היו קיימים קודם לכן.** הגדרה זו רחבה מספיק על מנת לכלול טכנולוגיות ויישומים מסוגים שונים, וכן מאפשרת התייחסות נרחבת לצרכים מסוגים שונים על מנת לממש את היכולות הללו. מצד שני, הגדרה זו צרה מספיק כך שלא ייכללו במסגרתה כל תחומי המחשוב באשר הם, אלא רק כאלו שבהם תכונותיה של בינה מלאכותית באות לידי ביטוי. על בסיס הגדרה זו גובשו הפרקים הבאים.

פרק 2

תחומי בינה מלאכותית

בינה מלאכותית ותחומים סביבה



למידת מכונה

תת־תחום הנפוץ ביותר של בינה המלאכותית הוא למידת מכונה (Machine Learning).³⁰ למידת מכונה מאפשרת לאלגוריתמים ללמוד ממידע ולפתח פתרונות באופן עצמאי,³¹ על ידי שימוש באלגוריתמים מבוססי סטטיסטיקה אשר "לומדים" ממאגרי מידע גדולים על מנת לשחזר יכולות קוגניטיביות אנושיות, וכך לבצע מטלות בסיטואציות בלתי מוכרות.³² למידת מכונה מאפשרת לאלגוריתמים ללמוד באמצעות אימונים חוזרים וליצור תוצאות המשתפרות בהתאם להיקף האימון והניסיון של האלגוריתם. זאת בשונה מתוכנה שנכתבת על ידי מתכנת אנושי. דוגמה לכך היא תוכנת בינה מלאכותית המקבלת מאגר מידע של אותיות שנכתבו בכתב יד, ולומדת להבחין בין אותיות הנכתבות בכתב יד גם על ידי אדם שכתב ידו לא הופיע במאגר הקיים. ישנן מספר גישות ללמידת מכונה, ביניהן למידה תחת הנחיה שבה המתכנת מבסס את הלמידה על מודל ראשוני קיים שאותו המכונה מטייבת; ולמידה ללא הנחיה, שבמסגרתה המערכות הלומדות מפתחות מודל משלהן, שאינו נשען על מודל קיים.³³ גישה נוספת היא למידת חיזוק, שבמסגרתה התוכנה לומדת מניסוי וטעייה³⁴ ולא ממאגר מידע קיים.

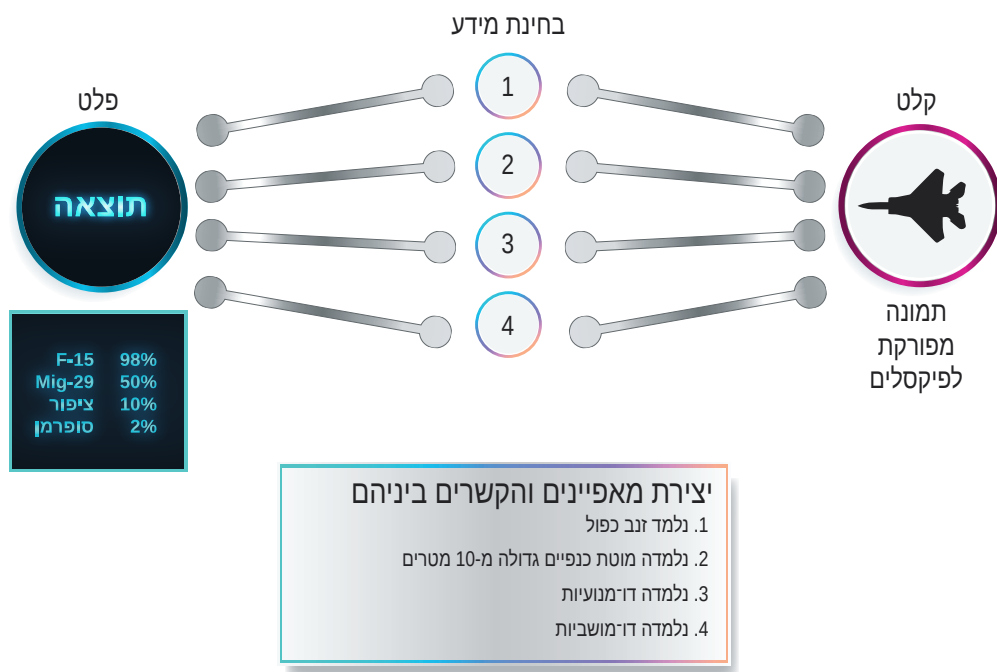
למידה עמוקה

למידה עמוקה (Deep Learning) היא תת־תחום של למידת מכונה, אשר עושה שימוש ברשתות נוירונים מלאכותיות (Artificial Neural Networks).³⁵ רשתות נוירונים אלו הן אלגוריתמים השואבים השראה מאופן הפעולה של רשת העצבים במוח האדם.³⁶ הרשת העצבית לומדת על ידי תיקון הקשרים הרבים בתוכה, שבהם היא עורכת תיקונים קטנים באמצעות בחינת מידע רב, על מנת לטייב את דיוקה,³⁷ וכך הפלט של נוירון אחד הוא הקלט של נוירון אחר. למידה עמוקה נקראת כך מכיוון שהיא מבוססת על שכבות רבות של רשתות נוירונים מלאכותיות.³⁸

בזכות הצלחות ראויות לציון, רשתות הנוירונים הפכו עם השנים לנפוצות ביותר מבין הגישות של למידת המכונה, והן אחראיות למגוון הישגים בתחום הבינה המלאכותית, ביניהם זיהוי פנים ברמה העולה על היכולת האנושית לזהות פנים; זיהוי עצמים בתמונות; שליטה בכלי רכב אוטונומיים וברחפנים; תמלול דיבור ברמה העולה על זו של מתמללים אנושיים מקצועיים; ותרגום שפות, לרבות אלו שהטכנולוגיה לא אומנה בהן.³⁹

פעולת רשת נוירונים פשוטה ביישום של "זיהוי תמונה"

הקופסה השחורה – השלב הסמוי



במסגרת גישות מרכזיות אלה מתקיימות יכולות בתחומים שונים, למשל:

עיבוד תמונה

יכולת עיבוד תמונה (Image Processing) עושה שימוש בלמידה עמוקה ומאפשרת לתוכנה לזהות עצמים בתוך תמונה ולסווג אותם.⁴⁰ לשם כך התוכנה מחלקת את התמונה לפיקסלים ומצמידה לכל פיקסל ערכים לפי צבעו. ניתוח זה של התמונה עובר במערכת רשתות הנוירונים המלאכותיות העמוקה של התוכנה, אשר אומנה בהתבסס על מאגר מידע גדול של תמונות ומסווגת את התמונה בהתאם. כיום חלק מהטכנולוגיות בתחום זה כבר נגישות לציבור הרחב כמוצר מדף, דוגמת תוכנת Vision AI של גוגל.⁴¹

ראייה ממוחשבת

ראייה ממוחשבת (Computer Vision) שונה מטכנולוגיות עיבוד תמונה בכך שהיא מאפשרת לתוכנה לזהות עצמים בזמן אמת ולהגיב להם בדומה ליכולת הראייה האנושית, אך ללא הצורך לסווגם. טכנולוגיות אלו משמשות למשל במכוניות סמי-אוטונומיות, שכן באמצעותן אפשר לזהות אדם המתפרץ לכביש ולהפיק צליל אזהרה לנהג הרכב.⁴² נושאים נוספים המתאפשרים על ידי ראייה ממוחשבת הם למשל הדמיית תלת-ממד, מדידת עצמים, ניווט אוטונומי ובקרת תנועות חריגות.

עיבוד שפה טבעית

עיבוד שפה טבעית (Natural Language Processing או NLP) הוא תת-תחום של למידת מכונה המאפשר לתוכנה לתמלל, לתרגם ולבצע פעולות בהתאם למשמעויות רחבות של שפה מדוברת וכתובה, וכן להפיק מילים ומשפטים חדשים בעלי משמעות לאדם.⁴³ בין היישומים של עיבוד השפה הטבעית קיימים Natural-language generation (NLG), המסייע לעבד כמויות גדולות של מידע ולהפיק ממנו נרטיבים ותובנות פשוטים וקלים להבנה, ו-Natural-language understanding (NLU), המסייע לעבד טקסטים שהמידע בהם חסר או אינו מובנה.⁴⁴ טכנולוגיית עיבוד שפה טבעית משמשת כבר כיום במגוון רחב של יישומי בינה מלאכותית, בכללם יישומי עוזרים אישיים כדוגמת סירי, אקו ו-Google Assistant, יישומי תרגום שפות, יישומים ממשלתיים ועסקיים המנתחים מאגרי מידע גדולים מבוססי טקסט, ואף יישומים ביטחוניים בתחום המודיעין.⁴⁵

בין הטכנולוגיות הנלוות, המושפעות מבינה מלאכותית והתפתחויותיה:

האינטרנט של הדברים

האינטרנט של הדברים (Internet of Things או IoT) מתאר עולם שבו מוטמעים מחשבים וחיישנים זעירים בחפצים שונים. חפצים אלה יכולים לייצר ולאגור מידע דיגיטלי ותוך כך לפקח על סביבתם, להציג אינפורמציה ולבצע פעולות ברמת אוטונומיות מסוימת או לפחות באופן אוטומטי. אותם חפצים גם מתחברים לרשת, מה שמאפשר להם לתקשר עם הסביבה, עם מכשירים אחרים ועם בני אדם.⁴⁶ מכיוון שטכנולוגיית הבינה המלאכותית נשענת גם על קיומו של מידע רב המאפשר הסקת מסקנות, לטכנולוגיית האינטרנט של הדברים חלק מרכזי בקידומה של הבינה המלאכותית.⁴⁷ זאת ועוד, שילוב טכנולוגיה זו עם יישומי בינה מלאכותית בזמן אמת מאפשר למערכת הבינה המלאכותית לקבל קלטות על המציאות בזמן אמת ולשפר דרך קבע את תגובותיהם. טכנולוגיה זו יכולה לאפשר למשל שירותים של ערים חכמות, כפי שהודגם בעיר הסינית הנגז'ו.⁴⁸ כמו כן, לטכנולוגיה זו יישומים ביטחוניים רבים כולל IoBT – האינטרנט של הדברים של שדה הקרב.

טכנולוגיות בשימוש כפול

אחד המאפיינים של טכנולוגיית בינה מלאכותית הוא היותה בעלת שימוש כפול, כלומר: אותו יישום יכול לשמש למטרות אזרחיות ולמטרות צבאיות או ביטחוניות.⁴⁹ הדבר אינו ייחודי רק לבינה מלאכותית וקיים בטכנולוגיות ובתחומים מדעיים נוספים. בתחום הבינה המלאכותית הוא בא לידי ביטוי, לדוגמה, בתוכנה המזהה באופן אוטומטי עצמים בלתי רצויים בסרטוני יוטיוב ומתריעה על כך. תוכנה כזו יכולה לשמש גם לזיהוי כלי נשק או דמויות חשודות בסרטוני אבטחה ולהתריע על כך.⁵⁰ דו־שימושיות זו מייצרת הזדמנות אך גם אתגר. מחד גיסא, תעשיות הביטחון יכולות לשתף פעולה עם המגזר העסקי ולפתח טכנולוגיות בעלות יישומים מגוונים המועילים לשני המגזרים. מאידך גיסא, פיתוחה של טכנולוגיה למטרה מסוימת במגזר העסקי יכולה באמצעות התאמות מינימליות לשמש למטרות לחימה, ולהקנות יכולות מתקדמות גם לגורמים עוינים מדינתיים או תת־מדינתיים.⁵¹ אתגר ביטחוני זה מצטרף לאתגר נוסף של מוצרי מדף או רכיבים טכנולוגיים שונים, שעשויים בהתאמות קלות להפוך לאמצעי לחימה עבור מי שאינו יכול לרכוש אותם מן התעשיות הביטחוניות.

הסוגים הרבים של יישומי בינה מלאכותית, שהם בעלי יכולות שונות המוטמעות כבר כיום בתחומי חיים רבים, מסוכמים בטבלה שמרכזת ממצאים של כתבות ומחקרים שונים מהשנים 2018–2019.

יישומי בינה מלאכותית בתחומי שימוש נפוצים כיום

התאמה אישית של שירותים	ראייה ממוחשבת ועיבוד תמונה	יכולות אוטונומיות	עיבוד שפה טבעית	עיבוד וידאו	ניתוח מאגרי מידע	
	✓	✓	✓	✓	✓	ביטחון לאומי 
		✓			✓	סייבר 
✓					✓	בנקאות ופיננסים 
✓	✓	✓	✓	✓	✓	תחבורה 
✓			✓	✓	✓	חינוך 
	✓	✓	✓	✓	✓	עבודה וייצור 
✓	✓	✓	✓	✓	✓	רפואה 

פרק 3

יישומים ביטחוניים נפוצים

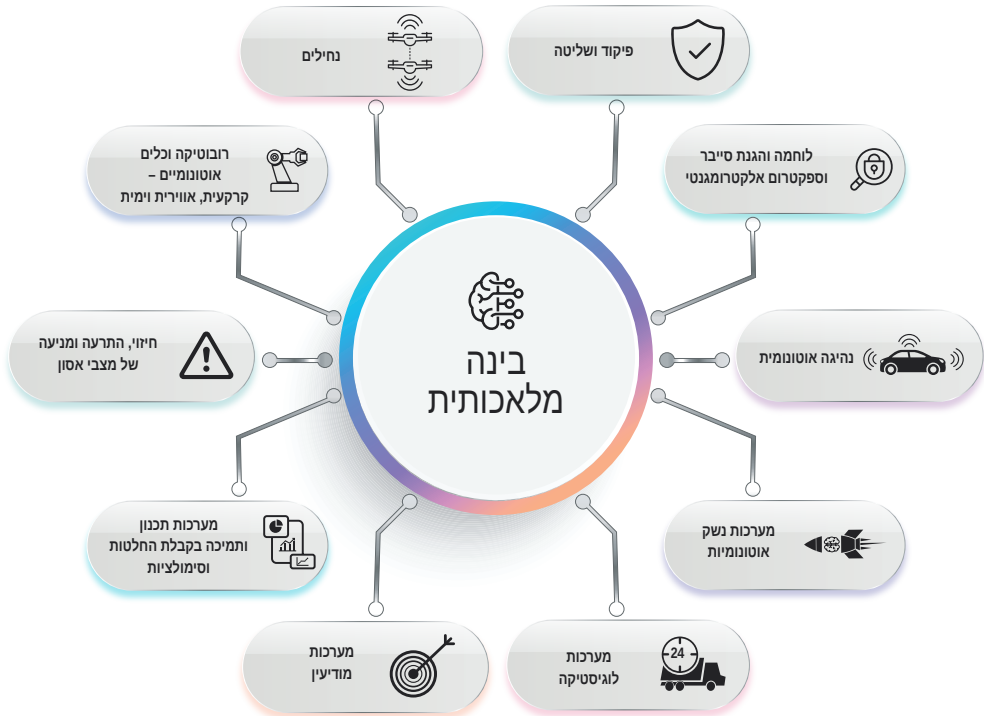
יישומי בינה מלאכותית בתחום הביטחון הלאומי הופכים נפוצים וזמינים בקצב מהיר מאוד. חלק מהיישומים מפותחים ביחידות הפיתוח של מערכות הביטחון במדינות השונות, וחלקם בחברות ביטחוניות ואף חברות אזרחיות. בצה"ל למשל מקובל לחלק את היישומים הרבים לשתי משפחות עיקריות:

האחת – יישומים שמחליפים "Hard Workers" כגון פענוח אוטומטי, תרגום אוטומטי ומשימות נוספות שרובן סזיפיות.

השנייה – יישומים שמסייעים בקבלת החלטות, וחלקם אף מסוגלים לקבל החלטות באופן אוטונומי במשימות כגון תכנון וחיזוי.

קשה למנות את כל היישומים והתחומים שבהם פועלת כיום בינה מלאכותית בנושאי ביטחון, בשל כמותם הגדולה וקצב השינוי המהיר. כן יוזכר שקיימים יישומים אזרחיים בעלי פוטנציאל המרה ליישומים ביטחוניים או כאלו שהם בעלי השפעה ביטחונית מסוימת (למשל יישומי ה-Deep Fake). עם זאת, במספר תחומים ביטחוניים בולט כבר כיום שימוש בבינה מלאכותית, להלן יפורטו כמה מהם.

יישומי בינה מלאכותית בתחום הביטחון



מודיעין

מגוון יכולות של בינה מלאכותית מתאימות לצרכים מודיעיניים, החל מעיבוד תמונה דרך ראייה ממוחשבת, עיבוד שפה על שיטותיה השונות ויכולות נוספות. אלגוריתמים משמשים כבר כיום במגוון פרויקטים מודיעיניים ברחבי העולם. בעידן של היצף נתונים אין אפשרות לכוח אנושי לטפל בכל הנתונים הנאספים על ידי החיישנים הרבים שבידי מערכות הביטחון. לכן השימוש בבינה מלאכותית במודיעין הוא לא פחות מהכרחי, שכן היא מסייעת במיכון תהליכים מודיעיניים, בעיקר בתחומים של מידע לא מובנה, ומאפשרת להפיק תובנות וידע חדש שלא התאפשרו באמצעים קודמים.

בין הפרויקטים הרבים במודיעין שעושים שימוש בבינה מלאכותית נמצא 'פרויקט מייבן', הידוע עקב ההתנגדות שהוא עורר בקרב עובדיו. פרויקט זה בוצע בשיתוף פעולה בין גוגל למחלקת ההגנה האמריקאית ובמסגרתו נעשה שימוש בבינה מלאכותית לשם פיענוח סרטונים שצולמו על ידי מל"טים.⁵² לדארפ"א תוכנית העוסקת בפיתוח אלגוריתמים לזיהוי מטרות, בין היתר מפתחים שם אלגוריתמים שמסייעים ב"אחידת שטח" תוך סריקת מידע מחיישנים שונים והשוואה בין הנתונים שהופקו מהם.⁵³ כן יש שימוש נרחב באלגוריתמים בניתוח טקסט או בניתוחי שמע המסייעים לאנליסטים, ביישומים לזיהוי פנים וברבים נוספים. בין היתר, בשנת 2018 הוענק בישראל פרס ראש הממשלה לשירות הביטחון הכללי על פרויקט מבוסס למידת מכונה, שסייע בסיכול של מאות פיגועים בהתבסס על ניתוח מידע ממגוון רב של מקורות.⁵⁴

לוגיסטיקה

יכולות החיזוי והתכנון המתאפשרות באמצעות בינה מלאכותית הופכות את הלוגיסטיקה לתחום שבו מתפתח שינוי משמעותי בשימושים אזוריים רבים ומגוונים, וגם בשימושים צבאיים. למעשה, צבא ארצות הברית עושה שימוש במערכות כאלו כבר משנות ה-90 של המאה הקודמת, ואחת מהן סייעה בתכנון ובאופטימיזציה של העברת כוחות בזמן מלחמת המפרץ הראשונה, כך שהוחזרה ההשקעה במחקר בינה מלאכותית בן 30 שנה.⁵⁵ שימושים עדכניים יותר הם למשל השימוש של חיל האוויר האמריקאי במערכות בינה מלאכותית לחיזוי תחזוקת מטוסים, ליצירת לוח זמנים פרטני לתחזוקת כלי טיס וכן LOGSA (the Army's Logistics Support Activity) במערכת ווטסון של IBM לפיתוח לוח זמנים תחזוקתי מותאם לצי הרק"ם מסוג Stryker, על סמך מידע מהחיישנים שלו.⁵⁶ למעשה, מבחינות רבות לוגיסטיקה צבאית קרובה לזו האזרחית, שכן גם בחברות מסחריות רבות ובארגונים אזרחיים נעשה שימוש נרחב בשירותים לוגיסטיים ובאחזקת מערכות. על כן נעשה שימוש במגוון מערכות לתכנון ולביצוע של משימות לוגיסטיות דו-שימושיות, למשל רובוטים ותוכנות מסוימות המסייעים בניהול המחסנים של אמזון.⁵⁷

נהיגה אוטונומית

תחום זה רלוונטי עבור יישומים ביטחוניים כשם שהוא רלוונטי במרחב האזרחי. עם זאת, בעוד שבאזרחות כלים אלו עתידים להפוך נפוצים בשלב ראשון בעיקר בדמות מכונות אוטונומיות, מזה מספר עשורים כבר נעשה שימוש בכלים בלתי מאוישים בתחום הביטחוני, חלקם בעלי יכולות אוטונומיות שונות, בעיקר באוויר ובים, וגם ביבשה. לכלים אלו חשיבות רבה מאוד בשדה הקרב והם יכולים להוות מכפיל כוח או להחליף גורם אנושי באזורי סכנה. עם זאת, מרבית הכלים הללו, חרף יכולותיהם האוטונומיות, נסמכים רבות על מעורבות והפעלה אנושית. נוסף על כך, בממד היבשתי הזירה הביטחונית מפגרת אחר הפיתוח והיישומים בזירה האזרחית – שם ההשקעות גבוהות מאוד. המעבר בין הזירות מאתגר שכן יש הבדל ניכר בין נהיגה בכבישים סדורים על פי תמרורים לבין פעולה של כלי אוטונומי בשטח פתוח או אורבני, ונגד אויב המנסה להערים עליו.

מערכות נשק אוטונומיות

מדינות רבות זיהו בעשורים החולפים את הפוטנציאל הטמון בשימוש בכלים בלתי מאוישים לצורכי ביטחון. בתוך מערכות אלו ניתן להתייחס לתת-קבוצה של מערכות נשק אוטונומיות, המסוגלות לחפש, לזהות ולתקוף מטרות באופן עצמאי, ללא קלט אנושי.⁵⁸ מערכות אלו מהוות גורם בעל פוטנציאל לשנות מיסודו את שדה הקרב, משום שהן ניתנות להפעלה כמעט ללא מעורבות אנושית בביצוע המשימה הטקטית, ומסוגלות לגרום לפגיעה קטלנית. מסיבה זו מערכות אלו מעוררות התנגדות נרחבת ואף מהוות עילה לדיונים בערכאות בינלאומיות המתמקדים בהגבלתן. אולם כיום פיתוח מואץ מאוד ויש החוששים שהעולם יידרדר למרוץ חימוש גם בתחום זה.⁵⁹ ללא הגבלה, אפשר שכלים אלו יהיו בשנים הקרובות נפוצים יותר ויותר, וכן משמעותיים בשדה הקרב.⁶⁰ במקביל, ככל שיגברו היכולות בתחום הבינה המלאכותית, יוכל להתרחב השימוש במערכות אוטונומיות קטלניות למגוון רחב של משימות ושימושים, שכן לצד רכיביהן האחרים, הבינה המלאכותית מהווה את המוח של אותן מערכות ומגדירה את היכולת שלהן לפעול באוטונומיות.

למרות שמדובר בתחום מתפתח, מספר מדינות כבר רכשו ניסיון מבצעי בשימוש במערכות אוטונומיות מסוגים שונים. בין אלה יוזכרו מערכות הגנה אווירית דוגמת ה'פטריוט' האמריקאית או 'כיפת ברזל' הישראלית, שכיום אדם נמצא במעגל ההפעלה שלהן בעיקר לאור החלטה עקרונית של המדינות המפעילות אותן.⁶¹ לצידן נמנה חימוש משוטט דוגמת ה'הארופ' (Harop) – מערכת אווירית בעלת יכולת טיסה, שהייה באוויר, איתור, מעקב ותקיפת מטרות ללא מעורבות יד אדם, באמצעות התבטיות על אותות מכ"ם.⁶² נוסף על כך קיימות מערכות קרקעיות ברמת תחכום נמוכה המסוגלות לפתוח

בירי לעבר שטח מוגדר מראש, בהתאמה לפרמטרים מסוימים ובהם תנועה או חום. ביניהן, למשל, מערכת ה-SGR-A1 הקוריאני.⁶³

מערכות תכנון ותמיכה בקבלת החלטות וסימולציות

מערכות בינה מלאכותית המסייעות לתכנון ולקבלת החלטות קיימות כבר כיום בתחום האזרחי ויכולות לשמש גם את התחום הביטחוני. ברפואה למשל קיימות מערכות בינה מלאכותית לאבחון על סמך הנתונים והמידע הקיימים, למשל תמונות רדיולוגיות ומדדים, לרבות דופק וטמפרטורת גוף. המערכות הללו מגיעות ליכולות גבוהות, לעיתים אף מעבר לאלו של רופאים, ומסייעות לרופאים האנושיים להגיע לאבחנה ולהחליט לגבי דרכי טיפול לאור התמחותן בתחום הצר שבו הן פועלות.⁶⁴ באופן דומה, בתחום הביטחוני מערכות מבוססות בינה מלאכותית יוכלו להתמחות בתחום צר ולסייע בכך לגורם האנושי בקבלת החלטה מבוססת מידע – גם אם מדובר במידע רב, תוך זמן קצר. מנגד, אלגוריתמים מסוגלים לסייע גם במקרים של מיעוט מידע ולהסתייע בהדמיות או באמצעים אחרים על מנת להפיק תובנות או לבצע פעולות באופן ממוכן. בעתיד יידרשו מערכות קבלת החלטות לבצע בזמן אמת את הפעולות שמבצעות מערכות תכנון – מה שיסבך את עיבוד הנתונים אך יגביר את קצב התהליך. היבט נוסף הוא סימולציות ומשחקי מלחמה. מערכות בינה מלאכותית יוכלו לסייע בבניית תרחישים, סימולציות ומשחקי מלחמה ריאליסטיים, שישפרו את האימון ויעלו את התכנון המבצעי על סמך נתוני עתק.⁶⁵ סין למשל פועלת רבות בתחום זה לחיזוק צבאה, שניסיונו מועט יחסית למדינות אחרות.⁶⁶ מוערך שאם מערכת בינה מלאכותית מסוגלת לשחק ולנצח במשחק אסטרטגיה דוגמת 'גו',⁶⁷ ומערכת מתקדמת אף לימדה את עצמה לשחק בו תוך שעות ספורות באופן שאפשר לה לנצח את המערכת הקודמת, אזי מערכות כאלו יוכלו, בהינתן להן הנתונים המתאימים, להריץ מגוון אפשרויות אסטרטגיות הקשורות למצב נתון ולבחור בטובות מביניהן, תוך שהן מביאות בחשבון פעולות אפשריות של היריב.

פיקוד ושליטה

מערכות פיקוד ושליטה עתידות לעשות שימוש רב יותר בבינה מלאכותית, בין היתר כמערכות מייעצות, שיפעלו בכפוף לגורם אנושי ובשיתוף פעולה עימו בקבלת החלטות, בזמן ההפעלה עצמה (בשונה ממערכות תכנון, תמיכה בקבלת החלטות וסימולציות, המשמשות בשלבים שלפני ביצוע פעולה). כדוגמה ניתן להזכיר מערכת של חיל האוויר האמריקאי לפיקוד ושליטה (MDC2), הנמצאת בשלבי פיתוח. מטרתה של מערכת זו היא לרכז תכנון וביצוע של מבצעי אוויר, חלל, סייבר, ים ויבשה. בטווח הקצר, הבינה המלאכותית תשמש לשילוב נתונים מכל הזירות הללו, ולאחר ביצוע תהליכי

למידה מאירועי עבר ותהליכים של המרת מידע לא־מובנה למובנה, היא תיצור תמונה מבצעית אחודה עבור מקבלי החלטות.⁶⁸ פיתוח זה משמעותי מאוד בעידן של היצף מידע וקושי להתמודד עם כמויות וסוגים שונים של מידע, המגיעים ממגוון חיישנים ומקורות. כן יאפשרו מערכות לתכנן מבצע או לסייע בתכנון ניווט או הגדרת נתיבים. גם בהקשר התקשורתי מפותחות כיום מערכות בינה מלאכותית שיוכלו לזהות ניתוק של קשרי תקשורת על ידי יריב ולחפש אמצעים חלופיים להעברת מידע.⁶⁹

לוחמה והגנת סייבר וספקטרום אלקטרומגנטי

על פי דארפ"א מדובר בתחום רלוונטי להמשך השימוש באלגוריתמים מ"הדור הראשון",⁷⁰ במקביל להתפתחות יכולות בדורות המתקדמים. בלוחמת סייבר מסייעים אלגוריתמים למנוע תקיפות או לאתר ולהתריע מפני מתקפות על מערכות ממוחשבות שונות. היכולת לנתח במהירות כמויות עצומות של מידע ממקורות מגוונים מסייעת רבות בתחום זה, שבו קיימת חשיבות רבה להתמודדות עם נתוני עתק בקצבים שהם מעבר לקצה גבול היכולת האנושית. יישומים אלו מבוססים על יכולת האלגוריתם לזהות אנומליות – חריגות מדפוסים הנחשבים נורמליים – באמצעות הכללה של תרחישים ולמידה מניסיון. בהקשר זה יצוין למשל הפרויקט שעורכת דארפ"א בתחום הסייבר.⁷¹ בינה מלאכותית משמשת גם למתקפות סייבר. יוזר פיתוח של IBM, שבמסגרתו נוזקה בשם DeepLocker מסווה את מטרתה עד הגעתה ליעד, שאותו היא מזהה על ידי זיהוי קול או פנים. נוזקות מסוג זה נחשבות יעילות במיוחד, שכן הן מסוגלות להדביק מיליוני מערכות בלי להתגלות, בניגוד לתקיפות סייבר אחרות העשויות לעיתים להיות רחבות היקף ו"רועשות".⁷²

זאת ועוד, כבר כיום מסייעת בינה מלאכותית בלוחמה אלקטרומגנטית (ל"א). בצבא ארצות הברית למשל, מערכות בינה מלאכותית מפחיתות מהנטל הקוגניטיבי הנדרש לזיהוי מהיר ומדויק של אותות הנקלטים בחיישנים השונים, על פי סדר עדיפויות ואבחנה בין אותות רלוונטיים ל"רעש".⁷³

חיזוי, התרעה, מניעה וניהול מצבי אסון

בינה מלאכותית מסוגלת לסייע בזיהוי, בהתרעה ולעיתים אף במניעה של מצבי אסון, וכן לסייע בניהולם. באמצעות יישומי בינה מלאכותית ניתן לסייע בחיזוי רעידות אדמה, הצפות, התפרצויות געשיות והוריקנים; אלגוריתם שפיתחה המדענית הישראלית קירה רדינסקי מסוגל למשל לחזות ולהתריע לפני אפשרות למהומות אזרחיות אלימות, התפרצות נגיפים ואפילו עליית מחירים;⁷⁴ חברת גוגל מפתחת פלטפורמה של בינה מלאכותית שתסייע בחיזוי הצפות בהודו ותזהיר אנשים המשתמשים בשירותיה (כגון גוגל מפות או אפילו מנוע החיפוש של גוגל) ואשר נמצאים באזור הסכנה.⁷⁵ במקביל,

במרכז המשותף לבינה מלאכותית (JAIC) בארצות הברית החלו לחפש פתרונות שיסייעו בקיבוץ (אגרגציה) של מידע על מנת לספק מודעות מצבית, כמעט בזמן אמת, כדי לסייע לגורמים האחראים לתגובה במצבי אסון לקבל החלטות.⁷⁶ מערכות מסוגים אלו יוכלו לפעול בשילוב חיישנים מתחום האינטרנט של הדברים, הפרושים במקומות רבים או נמצאים בבעלות פרטית, וכן להסתייע ברובוטים שונים או בנחילים על מנת לבצע משימות של איתור, חילוץ והצלה בהיקף נרחב יותר ובאופן משופר. מוערך שניתן יהיה להציל את חייהם של מיליוני בני אדם באמצעות הטמעה של יישומים אלה ושכמותם.

פרק 4

טכנולוגיות נתמכות ותומכות

רובוטיקה

תחום הרובוטיקה קיים משנות ה־60 של המאה ה־20. עם השנים והודות להתפתחויות טכנולוגיות, יכולותיהם של הרובוטים השתכללו ורובוטים מהדור הרביעי השייכים לתחילת המאה ה־21 מסוגלים לנתח מצבים חדשים, לבחון את סביבתם ולפעול בהתאם. חלקם אפילו מסוגל להתייחס לרגשות אנושיים. ההתפתחות בבינה המלאכותית מהווה נדבך חשוב בהתפתחות הרובוטיקה, שכן היא ה"מוח" ששולט בגוף הפיזי של הרובוט, ועם ההתקדמות בה חל שיפור גם בתפקודם ובפעילותם של הרובוטים. רובוטים מסוגלים לבצע מגוון רחב של משימות – נהיגה אוטונומית, שינוע סחורות, ייצור מוצרים, ניקיון ומשימות נוספות רבות בתחומי חיים מגוונים. רובוטים מסייעים לביצוע משימות שנכללות במסגרת "The 4 D's": משעממות (Dull), מלוכלכות (Dirty), מסוכנות (Dangerous) ויקרות (Dear).⁷⁷ לאור זאת, בשני העשורים החולפים נכנסו רובוטים רבים לשימוש ביטחוני באוויר, בים וביבשה. ככל שהאוטונומיות של המערכות הרובוטיות הולכת ומתרחבת, כך גוברים גם פוטנציאל השימוש בהן מחד גיסא, אל מול המורכבות של הסוגיות המשפטיות והאתיות ששימוש זה טומן בחובו, מאידך גיסא.

נחילים

אינטליגנציית נחילים היא תחום בינה מלאכותית שהתפתח על בסיס חיקוי בעלי חיים הפועלים בקבוצות בטבע, דוגמת דבורים ונמלים. חברי הנחיל חולקים אינטליגנציה משותפת המתעלה על זו של כל פרט בקבוצה. התפתחויות בתחום העיבוד, הרשתות ועיצוב הממשק אפשרו לתוכנה ולחומרה לחקות את תהליך קבלת ההחלטות של הנחיל. מערכות בינה מלאכותית אלו מקבלות מידע מכלל החלקים המחוברים, כאשר כל אחד מהם מספק מידע ייחודי, ועל סמך זאת מתקבלת ההחלטה המיטבית לקבוצה כולה.⁷⁸ בדארפ"א למשל עוסקים בפיתוח נחילים כבר תקופה ממושכת, ובעת האחרונה מתמקדים בשיתוף פעולה בין נחיל לאדם.⁷⁹ אחד הניסויים שהודגמו

על ידי דארפ"א הוא פעולתו של נחיל בעל יכולת "החלמה", משמע יכולת להוציא לפועל בהצלחה משימה, גם אם חלק מהפרטים בקבוצה נפגעו או הושבתו. במקרה כזה מחשב הנחיל את פעולתו מחדש ומוציא לפועל את המשימה על סמך הנתונים החדשים. מכאן יתרונו של הנחילים על פני צורות פעולה מבוססות כלים יחידים.⁸⁰

אינטראקציית אדם-מכונה

תחום זה כולל מגוון תת-תחומים של בינה מלאכותית המאפשרים אינטראקציה נוחה ויעילה בין מכונה לאדם, ובכלל זה ניתוח שפה טבעית, צ'ט בוטים, ניתוח רגשות אנושיים ועוזרים אישיים דוגמת סירי ואלקסה.⁸¹ החיבור בין אדם למכונה נעשה תוך חיבור צוותים של אדם ורובוט; של אדם ותוכנת בינה מלאכותית כאמצעי להגברת היכולות האנושיות; ופעולה כישות אחת שמשופרת מבחינה קוגניטיבית ופיזית בעזרת יכולות של מכונה. בהקשר הביטחוני, צבאות בעולם מחפשים דרכים לייעל את האינטראקציה בין אדם למכונה וליצור צוותים משולבים, שישנו את אופן התכנון והלחימה ויחזקו את העוצמה הביטחונית.⁸² כשם שקורה בתחומים נוספים, בתחום זה קיימת חשיבות רבה ליכולת של אדם יחיד לשלוט במספר רב של כלים באופן האינטואיטיבי והפשוט ביותר, או לשתף איתם פעולה כדי לאפשר זמני תגובה קצרים. לשם כך מפותחים גם ממשקים שונים ובתוכם ממשק מוח-מכונה.

ממשק מוח-מכונה

ממשק מוח-מכונה הוא שם כולל למכשירים המאפשרים לתקשר עם מחשבים באמצעות פעילות מוחית בלבד; הם מתרגמים מידע נוירוני לפקודות לצורך שליטה בתוכנה או בחומרה. השאיפה היא שפיתוחים מתקדמים של הממשק יאפשרו לאנשים לתקשר באמצעות גלי מוח ו"לקרוא את המחשבות של זה".⁸³ מרבית הממשקים הקיימים פותחו לשימושים רפואיים, ביניהם שתל קוכליארי (התקן שמיעה) וגפיים רובוטיות. היזם אילון מאסק הודיע בשנת 2018 על השקעה של 27 מיליון דולר ב-Neuralink – חברה שמבקשת לפתח ממשק מוח-מכונה שישר את התקשורת האנושית על ידי חיבור אלקטרודות למוח וחיבורו ליכולות מחשוב.⁸⁴ כמוהו, יש הרואים בממשק מוח-מכונה אמצעי לשיפור היכולות האנושיות ולהתמודדות עם האיום הגובר על האנושות, שמציבה לשיטתו הבינה המלאכותית. גם לפיתוח זה פוטנציאל ביטחוני. בדארפ"א למשל פועלים לשיפור היכולות הקוגניטיביות של חיילים באמצעות ממשקי מוח-מכונה מתאימים.⁸⁵ טכנולוגיה זו נסמכת במידה רבה על מערכות בינה מלאכותית שמאפשרות זיהוי דפוסים, למידה מהסביבה והתאמת התגובה לכל אלו.⁸⁶

נתוני עתק (ביג דאטה)

ההתפתחות בתחום הטכנולוגי וריבוי מחשבים ורכיבים דיגיטליים מסוגים שונים, כולל רכיבים בתחום האינטרנט של הדברים, מובילים להיווצרות כמויות עצומות של "חתימות דיגיטליות" בעולמנו, אשר באות לידי ביטוי כנתוני מיקום (GPS), תמונות, טקסט ובדרכים נוספות. על פי נתון משנת 2018, מדי יום נוצרים 2.5 קוֹיִנְטִילִיֹן בייטים (שהם 2.5 מיליארד מיליארדים) של מידע, וקצב זה ממשיך לעלות.⁸⁷

המושג ביג דאטה או נתוני עתק מתייחס לאותן כמויות עצומות של נתונים, אולם קיימת יותר מהגדרה אחת לנושא. יש הרואים בו מאגר נתונים גדול ומורכב במיוחד, שניהולו וביצוע מניפולציות עליו כרוך באתגרים לוגיסטיים, שכן לא ניתן לעשות זאת באמצעים וביישומים מסורתיים לעיבוד נתונים.⁸⁸ אחרים מתייחסים לכך כאל קבוצת טכניקות סטטיסטיות שמסוגלות לזהות דפוסים במערכי נתונים ענקיים.⁸⁹ אותם מאגרי נתונים מהווים כיום תנאי יסוד לאימון של בינה מלאכותית, משום שניתוח שלהם יכול ללמד על דפוסים משמעותיים ובעלי ערך, והדבר למעשה מהווה במקרים רבים צוואר בקבוק בפיתוח יישומים מסוימים.

מחשוב-על

המונח מחשוב-על אינו חד-ערכי ולמעשה מדובר במונח יחסי לתקופה, המתייחס למחשבים בעלי יכולות חישוב עוצמתיות שניצבים בראש הדירוג העולמי באותה עת. בעוד מחשבי-העל הראשונים היו בעלי כוח עיבוד של קילופלופס אחדים,⁹⁰ המחשבים החזקים כיום מגיעים ל-34 פטהפלופס ($10^{15} * 34$ פלופס). כמעט כל מחשבי-העל של ימינו משתמשים בעיבוד מקבילי – מספר רב של ליבות המחוברות זו לזו ברשת מהירה. לרוב מחשבי-על מיועדים לפתרון בעיה יחידה באמצעות חישוב ספציפי. מחשבי-על מועילים גם לחישובים תאורטיים הדרושים לפיתוח נשק גרעיני, ולכן קיימות מגבלות על ייצורם והפצתם בזירה הבינלאומית.⁹¹ נשמעו טענות שלפיהן הדור הבא של הבינה המלאכותית ניצב מול בעיית מחשוב-על: העולם הדיגיטלי מכפיל את נפחו כל שנתיים, וכדי להתמודד עם כמויות אדירות של דאטה תוך ביצוע משימות שונות ויצירת מתודות אימון שונות, נדרש כוח מחשוב אדיר. ייתכן שמחשוב-העל, המתאפיין בארכיטקטורה הניתנת להרחבה ומונעת בזבוז, עשוי לענות על הצורך הזה עבור בינה מלאכותית ולאפשר קפיצות מדרגה נוספות בתחום.⁹²

מחשוב קוונטי

מערכות בינה מלאכותית מסוימות מצריכות יכולות עיבוד ומחשוב שיוכלו לתמוך בתהליכי אוטומציה והתמודדות עם מערכי נתונים ענקיים.⁹³ לשם כך יש צורך בחומרה חזקה מאוד, לעיתים מעבר למערכות המחשוב הקיימות כיום, מה שמשאיר רעיונות

מסוימים בתחום הבינה המלאכותית כחשובים תאורטיים בלבד. עבור בעיות שעוברות סף מסוים של מורכבות וגודל דרוש כוח מחשוב חזק בהרבה לפתרון, ומחשוב קוונטי נוצר כדי להתמודד עם אתגרים שלא ניתנים לעיבוד באמצעות מערכות מחשוב קלאסיות. מחשבים קוונטיים עושים שימוש בתופעות ייחודיות של מכניקת הקוונטים, בהן סופרפוזיציה ושיזירה קוונטית, כך שנוצרות יכולות מחשוב גבוהות.⁹⁴ בעוד מחשבים "קלאסיים" מבצעים חישובים באמצעות שימוש בביטים בינאריים, מחשבים קוונטיים משתמשים בקיוביטים, שמתקיימים בסופרפוזיציה בכל המצבים האפשריים (כלומר יכולים להיות גם 0 וגם 1 במקביל), וכך מאפשרים יתרון מערכי (אקספוננציאלי) ביכולות מחשוב.⁹⁵ טכנולוגיות קוונטיות יוכלו לבסס פרדיגמות חדשות באופן שבו מידע נאסף, מאוחסן ומעובד, ויספקו כלים משופרים לאבטחה, למחשוב ולמידה.⁹⁶ למעשה, מהפכת המחשוב הקוונטי טומנת בחובה לא רק שיפור אלא גם פוטנציאל "שיבוש", שכן היא עשויה להפוך על פיה את כל ההצפנה המקובלת וכך לגרום לקריסת המערכות הנמצאות בשימוש כיום.⁹⁷

מחשוב ענן

מחשוב ענן הוא מודל המאפשר גישה לפי דרישה מכל מקום למאגר משותף של משאבי מחשוב, ובכלל זה רשתות, שרתים, אחסון, יישומים ושירותים.⁹⁸ שירותים אלו מאפשרים שימוש במשאבים לפי הצורך באמצעות מחשב מרוחק המחובר לרשת. המשתמשים בענן אינם צריכים לרכוש ולנהל בעצמם משאבי ומערכות מחשוב אלא שוכרים אותם, כשירות שאותו הם יכולים להתאים לצורכיהם בעלות נמוכה יחסית.⁹⁹ ישנם כמה סוגי שירותים – תשתית כשירות (המשתמשים מקבלים משאבי מחשוב לשימוש, דוגמת אחסון ועיבוד), פלטפורמה (המשתמשים מקבלים משאבי מחשוב וכלים הנתמכים על ידי הספק), ותוכנה (במקום רכישת תוכנה והתקנתה, שירותי התוכנה של הספק מתקבלים דרך רשת תקשורת באמצעות אירוח באתר הספק).¹⁰⁰

מחשוב ענן אוגר כמויות רבות של נתונים, שמערכות בינה מלאכותית יכולות לגשת אליהם לצורך אימון או קבלת החלטות. נוסף על כך, השיפור ביכולות של הבינה המלאכותית עשוי להניב נתונים חדשים, שיוזנו לענן ויסייעו למערכות בינה מלאכותית אחרות ללמוד. למעשה, הענן מאפשר כוח חישוב ויכולות התמודדות עם מערכי נתונים גדולים עבור הבינה המלאכותית.¹⁰¹ עם זאת, יכולת הגישה אליו מוגבלת על ידי תשתיות אינטרנטיות ועל כן לא בכל מקרה ניתן להשתמש בשירותי ענן, משום שקצב העברת המידע עשוי להיות מוגבל ביחס לצורכי המערכת.

5G – רשתות דור חמישי

השימוש הגובר במכשירים ניידים וחיבורם של נוספים לרשת מעלה דרישה להזרמת נתונים מהירה ולאספקת שירותים אמינים, המסוגלים להתמודד עם תנועה רבה ברשת. רשתות 5G סלולריות אמורות לענות על הצורך הזה, להרחיב במידה ניכרת את רוחב הפס ולהביא לשיא חדש את מהירויות ההורדה ל-20 ג'יגה בייט בשנייה, לעומת ג'יגה בייט יחיד בשנייה שמתאפשר ב-4G.¹⁰² רשתות 5G צפויות לאפשר לספקים להרחיב שירותים הניתנים לצרכנים (למשל, הזרמה של וידאו או יישומי מציאות וירטואלית), לתמוך במספר ההולך וגדל של המכשירים המחוברים לרשתות (למשל ריבוי חפצים בתחום האינטרנט של הדברים – IoT), לתמוך בשימושים תעשייתיים חדשים (כדוגמת חיישנים תעשייתיים), לבצע ניתוחי נתונים מתקדמים ולאפשר שימוש בטכנולוגיות מתקדמות דוגמת כלי רכב אוטונומיים.¹⁰³ רשתות 5G יכולות לאפשר ולשפר את הביצועים של מערכות בינה מלאכותית; הן מספקות את התשתית להעברת כמויות אדירות של נתונים עבור בינה מלאכותית, וכך מסייעות לשיפורה. הבינה המלאכותית מספקת יכולת להבין את המורכבות של רשתות 5G ואת המידע שהן מייצרות,¹⁰⁴ כך שמתקיים כאן קשר הדדי.

פרק 5

בינה מלאכותית כללית

בעוד התקופה הנוכחית מוגדרת כעידן 'הבינה המלאכותית הצרה', המסוגלת לפעולות מסוימות בלבד, כפי שהוגדרו לה, חוקרים ומומחים מתייחסים לאפשרות פיתוחה של 'בינה מלאכותית כללית', שתפעל כמכונה החושבת ופועלת בדומה למוח אנושי.¹⁰⁵ הגדרה כללית זו מלמדת על מורכבות התחום, שכן היא משלבת בין קונספט המכונה ההנדסי לבין פונקציות ביולוגיות, פסיכולוגיות וקוגניטיביות של האדם.

הגדרות אופרטיביות מתייחסות למשל לתוכנה שתצלח את "מבחן טיורינג" בכך שתנהל בהצלחה שיחה רציפה עם בוחן אנושי, בלי שיידע כי הוא משוחח עם מכונה.¹⁰⁶ מבחן נוסף ומורכב ביחס למבחן טיורינג הוא "מבחן ההעסקה", שלפיו תיבחן יכולת המכונה לבצע מגוון רחב של תפקידים קריטיים שונים בשוק העבודה.¹⁰⁷ בחלק מהמחקרים מתייחסים גם לכוח החישוב או העיבוד הנדרש עבור בינה מלאכותית כזו, אולם ניכר כי השלם גדול מסך חלקיו וכי יכולת העיבוד אינה מדד מספק להסברת טכנולוגיה מורכבת כזו.

על אף מורכבות הגדרתה, קיימת הסכמה רחבה כי בינה מלאכותית כללית מצריכה התפתחויות משמעותיות בחקר הקוגניציה, בפיתוח חומרה ותוכנה, וכן בפתיחות עולמית לרעיון ההעברה של מלאכת קבלת ההחלטות לידיה של מכונה.¹⁰⁸ לצד זאת, נראה כי קיים עניין רב בפיתוחה האפשרי של בינה מלאכותית כללית וגופים רבים במגזר העסקי והציבורי עוסקים בהיבטיה הרבים.¹⁰⁹

עם זאת, קיים עדיין ויכוח לגבי עצם היתכנותה של בינה מלאכותית כללית. סקר מומחים מקיף לימד כי אין הסכמה בין חוקרים בנוגע לעצם היכולת לפתח את הטכנולוגיה, וכי הם חלוקים בדעותיהם באשר לפרק הזמן שמוערך כי יידרש לשם כך – גם אם הפיתוח אפשרי. יתר על כן, קיים ויכוח אם השפעותיה על האנושות יהיו חיוביות או שליליות.¹¹⁰

שלושת האתגרים המרכזיים בנוגע להערכת הבינה המלאכותית הכללית וסוגיית פיתוחה מזכירים בחלקם את הקושי להגדיר בינה מלאכותית בכלל:

- היעדר הגדרה של טכנולוגיית בינה מלאכותית ובעיית המדידה הנגזרת ממנה.¹¹¹
- פערים בתחום מדעי המוח והקוגניציה – קיים קושי לתכנת מכונה ללמוד במהירות דבר חדש או לבצע הכללות בסביבה רווית רעשים, כל עוד אין הבנה כיצד אדם עושה זאת.¹¹²
- אתגר החומרה מציב מגבלות גם בפני התקדמות בתחום הלמידה העמוקה.¹¹³ על מנת להתקדם בתחום נדרשות יכולות עיבוד חזקות ויעילות, יותר מאשר אלו הקיימות כיום.¹¹⁴

חרף חוסר ודאות בנוגע להיתכנותה העתידית של בינה מלאכותית כללית, יש המתריעים מפני משמעויות שליליות אפשריות של יכולת כזו. בקרב חוקרים קיימת הסכמה רחבה כי ההבטחה הטמונה בה מובילה כבר כיום למרוץ מסוכן להשגתה.¹¹⁵ ארצות הברית וסין מובילות במרוץ הבין-מדינתי.¹¹⁶ התפיסה הרווחת היא כי למדינה הראשונה שתפתח בינה מסוג זה יהיה יתרון ניכר על מתחריה, מה שמעלה את הסבירות להזנחת היבטים בטיחותיים בעת הפיתוח המואץ.¹¹⁷ זאת ועוד, עולה חשש מניצול לרעה של בינה מלאכותית כללית על ידי קבוצה מצומצמת של אנשים, וכן מוזכרת בעיית השליטה בתוצר עצמו, שיש החוששים מכך שיפעל בלי הגבלה¹¹⁸ – בדומה לתסריטים רבים של סרטי מדע בדיוני.

הערכה רווחת נוספת היא כי בינה מלאכותית כללית תוביל שינוי בכלל תחומי החיים: אוטומטיזציה נרחבת תשנה את התעשייה על כל גווניה, כתוצאה מכך את שוק העבודה, מה שיוביל לשינוי בכלכלה העולמית, ישפיע על מערכת החינוך, יגרור שינויים מהפכניים במערכת הבריאות ובאמצעי התחבורה ועוד. כל אלה ישנו מיסודה את התנהלותה של החברה האנושית.¹¹⁹ באופן בלתי נמנע, בינה מלאכותית כללית תשפיע עד מאוד על הביטחון הלאומי של מדינות ועל היחסים הבינלאומיים,¹²⁰ משום שיהיו לה השלכות על מאזן הכוחות העולמי, וכפועל יוצא גם על אופייה של המלחמה.¹²¹



בינה מלאכותית והזירה הבינלאומית

”

בינה מלאכותית עשויה להיות בִּזְמַן
הדבר הטוב ביותר או הרע ביותר שקורה לאנושות.

“

סטיבן הוקינג, אסטרופיזיקאי, תאורטיקן, קוסמולוג וסופר

פרק 6

מצב הבינה המלאכותית בעולם

תפיסת הבינה המלאכותית כאמצעי חדשני ובעל השפעה באה היטב לידי ביטוי בדבריו של ולדימיר פוטיין, נשיא רוסיה: "בינה מלאכותית היא העתיד, לא רק עבור רוסיה אלא עבור האנושות כולה [...] יש בה הזדמנויות אדירות, אך גם איומים שקשה לחזותם. מי שיהפוך למוביל בתחום זה יהיה לשליט העולם".¹²² ואכן, ניכר שמדינות מפנימות את האזהרה ויוצרות אסטרטגיה מגובשת בתחום. בפרק זה ייסקר המתרחש בתחום הבינה המלאכותית במספר מדינות מובילות בעולם, כבסיס לדין בהשלכות בינלאומיות אפשריות ולהערכת מעמדה היחסי של ישראל בהקשר זה.

ארצות הברית

ארצות הברית מובילה ככל הנראה בפיתוח אזורי וביטחוני של בינה מלאכותית. בשלהי תקופת ממשל אובמה הנושא קיבל התייחסות מחקרית ממסדית ב'דוח האדמיניסטרציה בנוגע לעתיד הבינה המלאכותית' שפורסם באוקטובר 2016.¹²³ לאחר חילופי הממשל ומאז 2017, ארצות הברית פועלת לגיבוש אסטרטגיה מקיפה לבינה מלאכותית בממשל הנשיא דונלד טראמפ. בדצמבר 2017 חתם טראמפ על אסטרטגיית ביטחון לאומי המציבה את ההובלה האמריקאית בטכנולוגיות החדשות, בהן בינה מלאכותית, כיעד לאומי. בין היעדים שצינו: לשפר את הבנת סוכנויות הממשל באשר למגמות הבולטות בתחום; לשפר את שיתוף הפעולה עם התעשייה והאקדמיה; להשתמש במומחיות הקיימת במחקר והפיתוח האזורי ובמשאבים הקיימים במגזר הפרטי למען יישומי ביטחון לאומי; ולהשיג מחדש את גורם ההפתעה באמצעות פיתוח תחומים טכנולוגיים חדשים.¹²⁴

גם באסטרטגיית ההגנה הלאומית מצוינת מחויבותה של מחלקת ההגנה האמריקאית להשקיע ביישומים צבאיים בתחום האוטונומיות, הבינה המלאכותית ולמידת מכונה, לצד שימוש בטכנולוגיות מסחריות פורצות דרך, במטרה לשמר את היתרון התחרותי הצבאי של ארצות הברית.¹²⁵ זאת כאשר ארצות הברית היא, נכון לראשית העשור

השני של המאה ה-21, גם המובילה העולמית בתחום מערכות הנשק האוטונומיות ובטכנולוגיות לוחמה בתחום הנחילים.

ביוני 2018 הוקם במחלקת ההגנה האמריקאית המרכז המשותף לבינה מלאכותית (JAIC) לתיאום מאמצי הפיתוח של הטכנולוגיה, ההטמעה והשימוש בה. המרכז מהווה מוקד לקידום הנושא בארצות הברית. נוסף על כך, בפברואר 2019 פרסמה מחלקת ההגנה אסטרטגיית בינה מלאכותית המתמקדת ברתיעת טכנולוגיות בתחום לקידום הביטחון והשגשוג הלאומי. אסטרטגיה זו ממשיכה ניסיון להשיג חלק מהמטרות שהוצבו עוד ב־2017, ביניהן שיפור שיתוף הפעולה עם המגזר הפרטי, האקדמיה ובעלות ברית גלובליות, ומוסיפה להן יעדים נוספים, בכלל זה הובלה אמריקאית מבחינת בטיחות ואתיקה של שימוש צבאי בבינה מלאכותית.¹²⁶ הדגש על נושאי בטיחות ומוסר היה תוצאה של ביקורת רועמת מצד מובילי דעת קהל, ארגונים שונים וביניהם ארגוני זכויות אדם ועובדים בחברות טכנולוגיות, בנוגע למדיניות הפיתוח האמריקאית בכלל ושל חברות וגורמים מסוימים בפרט, בין היתר גוגל, במסגרת שיתוף פעולה שביצעה עם מחלקת ההגנה.

ב־11 בפברואר 2019 הכריז טראמפ על יוזמת הבינה המלאכותית האמריקאית (American AI Initiative), שבכוונתה להטמיע אסטרטגיה רחבה לקידום ולהגנה על טכנולוגיית בינה מלאכותית לאומית בשיתוף פעולה בין הממשל, המגזר הפרטי, האקדמיה, הציבור ושותפות בינלאומיות.¹²⁷

הוצאות מחלקת ההגנה ב־2016 על פיתוח בינה מלאכותית עמדו על 600 מיליון דולר וגדלו ביותר מ־800 מיליון דולר בשנה שאחריה.¹²⁸ לפי הודעת מחלקת ההגנה, מ־2018 עד 2023 יושקעו שני מיליארד דולר לקידום פרויקטים של בינה מלאכותית.¹²⁹ מדובר בתקציב גבוה יחסית למה שעשוי להיתפס כ"תחום טכנולוגי יחיד". בחינת התקציב לשנת 2020 מגלה השקעה רבה בתחום, המשקפת את התייחסות הממשל לבינה מלאכותית כבעלת חשיבות גבוהה.¹³⁰ עם זאת נטען כי התקצוב עדיין אינו מספיק לפיתוח ולשימוש בטכנולוגיה כזאת, והמכשול התקציבי עשוי להביא לנחיתות טכנולוגית ביחס לאומות אחרות שפועלות להשגת הובלה בתחום.¹³¹ הבולטת ביניהן היא סין.

יתר על כן, הממשל והצבא מתקשים לרתום את המגזר הפרטי למאמץ הלאומי. הדבר בעייתי במיוחד נוכח העובדה שההובלה האמריקאית מתאפשרת כיום הודות לפעולתן של חברות מסחריות, שמהן רוכשת מחלקת ההגנה מוצרים ושירותים ומבצעת בהם התאמות לצרכיה. מדובר בשינוי ביחס לתקופות קודמות, שבהן פיתוחים מתקדמים נעשו במחלקת ההגנה ולאחר מכן זלגו לאזרחות.¹³² הבעייתיות באה לידי ביטוי בסטנדרטים שונים של המגזר הפרטי ושל הצבא. מורכבות תהליך הרכש וההתקשרות עם משרד ההגנה גורמת לכך שחברות רבות בוחרות להימנע מעסקים עימו. חשש

נוסף של חברות מסחריות נוגע לקניין רוחני של תוכנה וזכויות על דאטה.¹³³ משרד ההגנה מתקשה לגייס ולהכשיר כוח אדם, שכן אינו מצליח להדביק את הפער בתנאים הטובים ובשכר הגבוה, המוצעים במגזר הפרטי.¹³⁴

קושי נוסף ברתמת המגזר הפרטי לפיתוח טכנולוגיות בינה מלאכותית עבור התחום הביטחוני מקורו בנושא המוסרי. ישנן חברות המסרבות לשתף פעולה עם מחלקת ההגנה עקב חשש מהיבטים מוסריים של שימוש צבאי וממשלתי בבינה מלאכותית לריגול או בכלי נשק.¹³⁵ דוגמה בולטת לכך היא מחאת עובדי גוגל, שהביאה לסיום ההתקשרות של החברה עם משרד ההגנה בפרויקט מייבן היוקרתי.¹³⁶ במסגרת פרויקט זה עשתה מחלקת ההגנה האמריקאית שימוש בבינה מלאכותית שפיתחה גוגל לשם פענוח סרטונים שצולמו על ידי מל"טים. עובדי גוגל חששו שפיתוחים אלו יאפשרו בעתיד את פעולתן של מערכות נשק אוטונומיות (המסוגלות לבצע פעולה קטלנית ללא מעורבות אנושית). חלקם אף התפטרו מהפרויקט.¹³⁷

אמירה נוספת שנשמעת מעת לעת ביחס לקושי בשיתוף פעולה בין חברות אזרחיות למשרד ההגנה נוגעת ל"מרחק" בין עמק הסיליקון לווינגטון. מרבית חברות הבינה המלאכותית המובילות יושבות בסן פרנסיסקו, המרוחקת גיאוגרפית מווינגטון. אמירה זו מתייחסת לא רק למרחק הגיאוגרפי אלא גם לפערי תפיסות ותרבות בין מסדרונות הממשל והגורמים הצבאיים לבין ההנהלה והעובדים בחברות הטכנולוגיות. כך נוצרת חולשה באקוסיסטם¹³⁸ האמריקאי בתחום הבינה המלאכותית ביחס למדינות אחרות, שבהן שיתוף הפעולה בין הגורמים הממשלתיים למגזר העסקי הפרטי נרחב יחסית, ביניהן ישראל וסין.

סין

סין היא המתחרה הבולטת ביותר מול ארצות הברית בהתמודדות על הובלת תחום הבינה המלאכותית בעולם. לסין מספר תוכניות סדורות שמבנות את האסטרטגיה הכוללת שלה בתחום. לפי תוכנית 'הדור הבא בפיתוח AI' (Next Generation AI Development Plan), סין רואה בבינה מלאכותית "טכנולוגיה אסטרטגית" שהפכה למוקד של תחרות בינלאומית, והיא קריטית לעתידן הצבאי והכלכלי של מדינות.¹³⁹ במסגרת תחרות בינלאומית זו, סין הציבה לעצמה מטרה להיות המדינה המובילה בתחום עד שנת 2030.¹⁴⁰ בהתבסס על ניתוח של עמידה ביעדי עבר שסין הציבה לעצמה בתחומים טכנולוגיים ביטחוניים, ניתן להעריך כי היא חותרת באופן סדור ומתמיד לעמידה גם ביעד זה, תוך הקצאת משאבים רבים ולעיתים אף תוך נקיטת פעולות אגרסיביות.

ההשקעה התקציבית הכוללת במחקר ופיתוח של בינה מלאכותית בסין, שאינה חשופה לציבור, מוערכת במיליארדי דולרים לכל הפחות. לפי חלק מההערכות מדובר

בהשקעות עתידיות שיגיעו לכדי 150 מיליארד דולר, ולא ברור איזה חלק מהסכום מגיע מהממשלה ואיזה מהתעשייה.¹⁴¹

האקוסיסטם הסיני שונה במהותו מזה האמריקאי ומקנה לסין יתרון משמעותי. קיימים גבולות מעטים בין המגזר הפרטי, האקדמיה והמחקר, הצבא והממשלה. כתוצאה מכך לממשלה הסינית יש גישה למחקר, לפיתוח ולהטמעה של בינה מלאכותית שנמצאים מחוץ למגזר הציבורי, ובאפשרותה לתעדף ולהנחות תהליכים אלו לפי צרכיה. יכולתה לרתום את כל המגזרים השונים להשגת מטרות לאומיות מאפשרת לה להתגבר על חיסרון טכני ולצמצמו במהירות,¹⁴² וכן לפתח עצמאות טכנולוגית.¹⁴³ כך שלא תצטרך להסתמך על פיתוחים מערביים. לכך מתווספת העובדה שסין אינה מחויבת לזכויות הפרט בהיקף ובאופן שבו מחויבות ומיישמות את הנושא דמוקרטיה מערבית. עובדה זו אפשרה לסין לאורך השנים לאסוף נתונים ומידע על אזרחיה.¹⁴⁴ מדובר ביתרון ניכר, לאור חשיבות המידע הנדרש ל"אימון" מערכות בינה מלאכותית. אולם יתרון זה הוא גם עקב אכילס של סין. סין מתקשה לגייס מומחים וחברות בתחום מהעולם, בשל חששם מההשלכות של שיתוף פעולה עימה. העיקריים שבהם נוגעים לגניבה של אלגוריתמים ומידע,¹⁴⁵ וכן להשלכות מוסריות של שימוש בטכנולוגיה. כפועל יוצא, חולשה נוספת שעומדת מול סין היא איכות טכנית ירודה של חומרה ותוכנה לעומת זו האמריקאית,¹⁴⁶ ומחסור בכוח אדם מוכשר למחקר ופיתוח.¹⁴⁷ כחלק מניסיונה להתמודד עם האתגרים אלה, סין פועלת גם במישור הכלכלי וממשלתה משקיעה סכומים גדולים בחברות אמריקאיות לבינה מלאכותית (מהלך שזכה לתגובת נגד מצד הנשיא טראמפ, שחסם רכישה סינית של חברה לייצור שבבים החיוניים מאוד לטכנולוגיה זו).¹⁴⁸ סין פועלת גם לרכישת חברות במדינות מתפתחות, במטרה להגביר את שליטתה הטכנולוגית בתחום ולהוות אלטרנטיבה לטכנולוגיה ולשירותים האמריקאיים עבור לקוחות שונים.¹⁴⁹

רוסיה

מבחינה היסטורית, רוסיה נחשבת למעצמה בתחום הטכנולוגיות הצבאיות, אך חרף הובלתה בתחומים מסוימים (מערכות הגנה אווירית למשל), מאז ה"מהפכה בעניינים צבאיים" של שנות התשעים (RMA) וכן התפרקות הגוש הסובייטי, מתקשה רוסיה לשחזר הישגי עבר. בין היתר, התעשיות הצבאיות שלה מפגרות בתחומים טכנולוגיים רבים. דוגמה לכך היא הפער הרוסי בתחום המל"טים ביחס לסין וארצות הברית, מה שהוביל את רוסיה לחפש שיתופי פעולה או הזדמנויות לרכישת ידע, תוך נכונות לשלם עבורם מחירים גבוהים.¹⁵⁰

ההנהגה הרוסית והנשיא ולדימיר פוטין בראשה מבינים את חשיבות הבינה המלאכותית עבור עוצמתה הכלכלית והביטחונית. במהלך שנת 2019 הוחלט ברוסיה

על ניסוח אסטרטגיה לאומית לבינה מלאכותית,¹⁵¹ ולהחלטה קדמו יוזמות ותוכניות שנועדו לקדם את הפיתוח שלה.¹⁵² לפי התוכנית העדכנית ביותר, עד שנת 2030 כ-30 אחוזים מכוחות הצבא הרוסי יוחלפו ברובוטים אוטונומיים ובמערכות הנשלטות מרחוק.¹⁵³ זאת, לטענת הרוסים, כאשר קבלת ההחלטות לגבי שימוש בנשק קטלני תמשיך להתבצע על ידי בני אדם.¹⁵⁴

כחלק מהמאמצים לסגור את הפער מול מעצמות אחרות ולאפשר פיתוח מתקדם ושימוש נרחב בבינה מלאכותית, הוקם ברוסיה ארגון ממשלתי – Foundation for Advanced Studies.¹⁵⁵ בין פעולותיו המוצהרות: יצירת סטנדרטיזציה לפיתוח בינה מלאכותית בארבעה תחומים עיקריים – זיהוי תמונה, זיהוי דיבור, שליטה במערכות אוטונומיות צבאיות ומידע תומך למעגל הפעולה (חוג ההפעלה) של מערכות נשק.¹⁵⁶ זאת ועוד, הצבא הרוסי החל לחקור מגוון יישומים של בינה מלאכותית, בדגש על כלים אוטונומיים וסמי-אוטונומיים, והוא מתוכנן להטמיע בינה מלאכותית בכלי רכב יבשתיים, ימיים ואוויריים, ולפתח נחילים. מומחים צבאיים רוסים הביעו עניין גם בשילוב בינה מלאכותית בתחומים הכוללים טילי שיוט (Cruise Missiles), מערכות בלתי מאוישות, לוחמה אלקטרונית וביטחון סייבר, וכן ביצירת "ספריית מטרות" שתסייע למערכות לזהות מטרות ולשפר את יכולת הניווט שלהן.¹⁵⁷ יישומי בינה מלאכותית שימשו את רוסיה גם לצורכי תעמולה וריגול, וכן למבצעי מידע (Information Operation) נגד ארצות הברית ובעלות בריתה.¹⁵⁸

למרות שאיפותיה, חולשתה של רוסיה בתחום הבינה המלאכותית נעוצה בעיקר באיכות התעשייה והאקדמיה, שהיא ירודה לעומת המדינות המובילות בעולם; רוסיה מדורגת רק במקום ה-20 בעולם במספר חברות ההזנק בתחום, ומחקר הבינה המלאכותית באקדמיה הרוסית מועט ביחס למדינות אחרות, ובמיוחד בהשוואה למעצמות.¹⁵⁹ לכך מתווספת מגמת קיצוץ תקציבי שהחלה ב-2017 ונמשכת מאז.¹⁶⁰ ההשקעה המדינית הידועה בבינה מלאכותית עומדת על כ-12.5 מיליון דולר בלבד, נכון לשנת 2019.¹⁶¹ בשונה מסין, האקוסיסטם ברוסיה אינו נחשב חזק או איכותי, למרות המשטר הריכוזי בה. ב-2010 פעל ראש הממשלה דימיטרי מדבדב לביסוס הגרסה הרוסית לעמק הסיליקון – סקולקובו טכנופארק – שנועד לעודד יזמות ופיתוח של טכנולוגיות חדשות. תוך חמש שנים מתחילת הפרויקט ב-2010 המתחם הכיל כ-30 אלף עובדים. כמו כן, חברות אמריקאיות גדולות כמו מיקרוסופט, IBM ואינטל השקיעו במתחם. למרות זאת, שחיתות ומעורבות יתר מצד המדינה הביאו לכך שמשקיעים רבים נטשו את המתחם ועברו לפעול ממדינות אחרות באירופה. התפיסה של הממשל הרוסי, שלפיה מידע חופשי מסכן את הביטחון הפוליטי והלאומי של המדינה, לצד שחיתות נרחבת והיעדר הגנה על קניין פרטי, יוצרים סביבה לא מפרה ליזמות טכנולוגית, שמהווה מכשול גם בהקשר של הבינה המלאכותית.¹⁶² לפי הערכות שהוצגו לקונגרס

האמריקאי, מכשולים אלו יקשו על רוסיה להגשים את מטרותיה בתחום ולמצב את עצמה כמובילה בתחום.¹⁶³

ואולם, יש הערכות כי ייתכן שרוסיה תצליח חרף האתגרים להוביל בתחומים צרים של בינה מלאכותית, במיוחד באלו הקשורים בביטחון לאומי.¹⁶⁴ במידה שרוסיה תצליח לפתור סוגיות ארגוניות הקשורות לאקוסיסטם שלה, אפשר שתוכל לרשום התקדמות ניכרת בהטמעת בינה מלאכותית למרות המחסור במימון והשקעות מספקים.¹⁶⁵ לדוגמה, פרויקט משולב בתחום הבינה המלאכותית של תאגיד הקשור לצבא, הכולל כ-30 חברות פרטיות, האקדמיה הרוסית למדעים ואוניברסיטאות שונות, מסתמן כפרויקט הציבורי-פרטי הגדול ברוסיה.¹⁶⁶ אלא שיש להתייחס להערכות האופטימיות הללו במשנה זהירות, שכן ההתמקדות בבינה מלאכותית בתחום הביטחון וההגנה משמעה שמטעמי ביטחון מידע, החוקרים הרוסים יתקשו לשתף פעולה עם עמיתים מהמערב ויצונזרו על ידי כוחות הביטחון הרוסיים. נוסף על כך, מכיוון שהתפתחויות בתחום הבינה המלאכותית עשויות להיות מופקעות על ידי המדינה, לגורמים מסחריים אין תמריץ משמעותי להשקיע ברוסיה והיא עשויה להתמודד עם בריחת מוחות, כפי שקרה בעניין סקולקובו.¹⁶⁷

אירופה: צרפת, גרמניה ובריטניה

הנציבות האירופית מקדמת תפיסה כלל-אירופית בפיתוח בינה מלאכותית, האמורה להיטיב עם כלל אזרחי אירופה מבחינה ביטחונית וכלכלית. שיתוף פעולה בין מדינות האיחוד אמור לבססן כחוד החנית של המהפכה הטכנולוגית, להבטיח תחרותיות בתחום ולעצב תנאים לפיתוח ולשימוש בבינה מלאכותית, בהתאם ל"ערכים אירופיים".¹⁶⁸ באפריל 2018 חתמו 25 ממדינות אירופה על הצהרה לשיתוף פעולה בבינה מלאכותית, לצד מספר יוזמות לאומיות של כמה מדינות החברות באיחוד.¹⁶⁹ כן הוצגה תוכנית אסטרטגית אירופית לבינה מלאכותית, המתמקדת פחות בהיבטי פיתוח או היבטים ביטחוניים ויותר בהיבטים אזרחיים או "רכים" של התחום, ביניהם: קידום יכולות טכנולוגיות ותעשייתיות; הערכות לקראת שינויים סוציו-אקונומיים שתביא הבינה המלאכותית; ויצירת מסגרת לשימוש ראוי, אתי וחוקי בטכנולוגיה.¹⁷⁰ האיחוד האירופי מתמודד עם כמה אתגרים בקידום המדיניות, בהם אתגר תקציבי הקשור בהשקעות הרבות הנדרשות ממדינות הלאום ומהמגזרים הפרטיים בכל אחת מהן.¹⁷¹ נכון ל-2019, מתוך כלל מדינות האיחוד, שלוש הרכיבו למעלה מ-50 אחוזים משוק הבינה המלאכותית באירופה – צרפת, גרמניה ובריטניה (שהובילה בפער ניכר). נכון לתחילת 2020, לא ברור כיצד תשפיע על נושא זה עזיבת בריטניה את האיחוד האירופי. עם זאת, עוד טרם עזיבת בריטניה את האיחוד אפשר היה להתבונן גם על

המדיניות האירופיות בנפרד, כאשר שלוש מדינות בלבד הובילו בתחום, בעוד האחרות אינן נמנות עם המובילות העולמיות.¹⁷²

המדיניות של **צרפת** בתחום הבינה מלאכותית נוסחה ב'דוח וילאני' (Villani report) משנת 2018, שקרא להתמקד בארבעה מגזרים – בריאות, תחבורה, סביבה וכן ביטחון והגנה. ממנו נגזרה באותה שנה אסטרטגיה לאומית לבינה מלאכותית, שמטרתה למקם את צרפת כאחת מחמש המדינות המובילות בתחום והמובילה באירופה. באסטרטגיה הצרפתית מודגשת חשיבות ההיבטים האתיים והמוסריים של הבינה המלאכותית.¹⁷³ בין 2014 ל-2019 צרפת השקיעה למעלה מ-1.85 מיליארד דולר לקידום המחקר בבינה מלאכותית.¹⁷⁴ על פי הנשיא עמנואל מקרון, הממשלה תשקיע עד סוף הקדנציה שלו ב-2022 כמיליארד וחצי אירו במחקר ופיתוח, בעידוד יזמות ובאיסוף דאטה.¹⁷⁵ נקודות החוזק של צרפת באות לידי ביטוי בפיתוחים הקשורים למערכת הבריאות ולכלי רכב אוטונומיים. צרפת מודעת לצורך בגיוס מוחות ופועלת למשוך חוקרים זרים.¹⁷⁶ מבחינה ביטחונית, 'דוח וילאני' מכיר בכך שלא יהיה מנוס משימוש בבינה מלאכותית כדי לשמר את מעמדה של צרפת הן ביחס לבעלות ברית והן ביחס ליריבותיה, אך לפי הצהרות של בכירים בממשל ובתעשייה הצרפתית, שימוש בכלי נשק אוטונומיים ללא מעורבות אדם אינו עומד על הפרק.¹⁷⁷

גרמניה אימצה בנובמבר 2018 אסטרטגיה לאומית לבינה מלאכותית וייעדה למחקר ופיתוח של התחום כשלושה מיליארד אירו. לאסטרטגיה הגרמנית שלוש מטרות מרכזיות: הראשונה, מיצוב גרמניה ואירופה כמובילות בפיתוח ובשימוש בטכנולוגיה, תוך הבטחת התחרותיות של גרמניה בעתיד ביחס למתחרות; השנייה, הבטחת שימוש ופיתוח אחראי בבינה מלאכותית, שישרתו את טובת החברה; השלישית, הטמעת בינה מלאכותית בהקשר של דיאלוג חברתי נרחב ופעולות פוליטיות.¹⁷⁸ גרמניה פעלה לקידום שיתוף פעולה עם מדינות אחרות בתחום, בהן צרפת ואף סין, שמשקיעה רבות בחברות גרמניות ומהדקת את היחסים הטכנולוגיים בין המדינות. יתרונה של גרמניה בא לידי ביטוי בתעשיית הרכב ובתחום הרובוטיקה התעשייתית.¹⁷⁹

בריטניה, שעזבה את האיחוד האירופי בתחילת שנת 2020, מנהלת מספר יוזמות ממשלתיות שחוקרות ומתכננות שימוש בבינה מלאכותית. מסמך בריטי רשמי מכיר למשל בכך שבריטניה לא תוכל להתחרות בכוחות דוגמת ארצות הברית או סין מבחינת תקצוב או כוח אדם מוכשר, אך היא מבקשת להציג את השימוש המוסרי בבינה מלאכותית כיתרון תחרותי עליהן.¹⁸⁰ עיקרי ההתמקדות במדיניות הלאומית הבריטית הם בתחומי היזמות והכלכלה. ב'עסקת מגזר הבינה המלאכותית' (AI Sector Deal) מאפריל 2018, הממשלה הבריטית התחייבה לתמוך בתעשייה ולהשקיע בה כמיליארד אירו. עוד מצוין בעסקה כי על הממשלה לחבור לאקדמיה ולקהילה המחקרית, לתעשייה ולמשתמשי קצה, כדי להבטיח גישה לכישורים בתחום. לעיתים

קרובות, שיתופי הפעולה בין הצדדים הללו מתחילים במחקר של יישומים ביטחוניים בסיסיים שאינם מעוררי מחלוקת, ויכולים לשמש בסיס לשימושים צבאיים נרחבים נוספים בעתיד (למשל האקתון נחילי רחפנים, שאורגן על ידי 'מעבדת מדעי ההגנה והטכנולוגיה הבריטית' ו'מעבדת המחקר של חיל האוויר האמריקאי', לפיתוח מערכות אוויריות לא מאוישות לסיוע במקרי שריפה). אולם נראה כי בבריטניה, כמו במקומות אחרים בעולם, קיים פער יכולות (Skills Gap), ומכאן חשיבות ההשקעה בחינוך כדי לפתח ולמשוך כוח עבודה מוכשר.¹⁸¹

דוח משרד ההגנה הבריטי מדצמבר 2018 כלל התחייבות להרחבת השימוש בבינה מלאכותית להתמודדות עם איומים צבאיים ועם השינויים באופי המלחמה. אחת התוכניות הצבאיות בתחום היא תוכנית אוטונומיות (Autonomy Programme), החוקרת את הטכנולוגיות החדשות שיוכלו להיות בעלות ההשפעה הצבאית הרבה ביותר עבורה, ופועלת בתחום של פיתוח אלגוריתמים, בינה מלאכותית ולמידת מכונה, ופיתוח הדור הבא של מערכות צבאיות אוטונומיות. אחד הפיתוחים החשאיים בתחום הוא המל"ט החמוש טאראניס (The BAE Systems Taranis), המוכר גם בכינוי 'רפטור', שמופעל על ידי טייס שיכול לשלוט בו ידנית ממיקום מרוחק, אך הוא בעל מצב טיסה אוטונומי.¹⁸²

סיכום השוואתי

  מדינות אירופיות	 רוסיה	 סין	 ארה"ב	
לחלק ממדינות הלאום יש תוכנית לאומית לתחום, לאחרות רק יוזמות ספורות. הצהרה לשיתוף פעולה של 25 ממדינות בתחום האיחוד מלמדת על המדיניות הכללית של האיחוד, שמדגישה את הפן האזרחי והכלכלי הרך של הטכנולוגיה.	אין תוכנית לאומית נכון למועד כתיבת שורות אלה, אך בהוראת הממשל הרוסי החלו בניסוחה במהלך 2019.	כמה מסמכי מדיניות מהווים יחדיו תוכנית אסטרטגית מקיפה – לפן הביטחוני ולפן האזרחי.	יש תוכנית לאומית והתייחסות לתחום גם במסמכי מדיניות נוספים. התייחסות מקיפה שכוללת את הפן האזרחי והפן הביטחוני.	האם יש תוכנית לאומית? מאיזה סוג?
מסתמך על השקעתן של מדינות הלאום בתחום והמגורים הפרטיים בהן, מה שעשוי לאתגר את הפיתוח והמחקר, שכן ההשקעה בתחום אינה זהה בכל מדינה.	קיצוצים תקציביים החל מ-2017; התקציב לתחום מוערך ב-12.5 מיליון דולר.	לפי חלק מההערכות, כ-150 מיליארד דולר. גם אם התקצוב נמוך מכך, עדיין השקעתה הכספית של סין בתחום היא הנרחבת ביותר.	נאמד במיליארדי דולרים, אך לפי חלק מההערכות אינו מספיק ועשוי להביא לגירעון טכנולוגי.	תקציב
גם כאן פער בין הרמה הלאומית והרמה האירופית. יש הכרה בחשיבות יצירת אקוסיסטם איכותי בשתי הרמות, אך טרם ברור אם מצליחים לייצר אחת כזו בשתייהן.	איכות התעשייה והאקדמיה בתחום ירודה ביחס לאחרות; מעורבות מדינית מוגברת, שחיתות רבה ויחס למידע חופשי כאיום מקשים על יצירת אקוסיסטם פורה ויעיל.	בהתחשב באופי המשטר בסין, אין כמעט גבולות בין השוק הפרטי, האקדמיה, הצבא והממשלה, וכך באפשרות המדינה לרתום את כלל האקוסיסטם למטרותיה.	אתגרים ברתימת השוק האזרחי לשיתוף פעולה עם הצבא והממשלה, נוכח קשיים אתניים, כלכליים וטכניים.	אקוסיסטם

פרק 7

השפעות אפשריות על הזירה הבינלאומית

השפעותיה האפשריות של טכנולוגיות הבינה המלאכותית הן נרחבות, ועל כן מלבד למרוץ הכללי להשגתה ואולי אף למרוץ החימוש המתחולל בתחום, יש להתייחס למספר השפעות אפשריות על הזירה הבינלאומית.¹⁸³ כן יש להיערך להשפעות לוואי הנובעות ממרוץ החימוש עצמו.

בטיחות וסיכונים

כיום לא קיימים סטנדרטים בינלאומיים מחייבים בנוגע לבטיחות של בינה מלאכותית, למעט יוזמות מקומיות. כך נוצר מצב שמערכות הלוקות בכשלים שונים עשויות להיכנס לשימוש – למשל מערכות שבבסיס הנתונים שלהן קיימות הטיות מובנות נגד אוכלוסיות מסוימות, או שבסיס הנתונים שלהן שגוי מלכתחילה ולכן עשוי לייצר תוצאה שגויה, או שהקוד שלהן לא נבדק מספיק או לא אומן על בסיס נתונים גדול דיו, ועל כן עשויים להיות בו כשלים.

איום נוסף על הבטיחות עשוי לנבוע מפיתוח בלתי מבוקר של בינה מלאכותית באפיקים שעשויים להפוך בעתיד למסוכנים, כמו למשל מערכות המפתחות קוד בעצמן ועשויות לצאת משליטה ולפגוע בפעילות תקינה של תשתיות אזרחיות וצבאיות חיוניות. מומחים רבים מזהירים כיום מפני סיכונים אלו ומפני סיכונים נוספים.¹⁸⁴ אחד הסיכונים המרכזיים נובע מן המרוץ אחר ההובלה בתחום, שבא לידי ביטוי הן בהשקעה של מדינות והן בפעילות של חברות פרטיות.¹⁸⁵ למרות האתגרים הללו, אפיקים ספורים בלבד של הסיכונים נדונים ברמה הבינלאומית (למשל הניסיון להגביל מערכות נשק אוטונומיות באו"ם במסגרת ה-CCW).¹⁸⁶ תופעה זו עשויה להשפיע על הזירה הבינלאומית – כולה או על חלקה.

תחומי חימוש אחרים והסיכון ל'מלחמת יתר'

אחד החששות הגדולים הוא ההשפעה השלילית האפשרית של בינה מלאכותית על תחומי חימוש אחרים (חימוש גרעיני, למשל¹⁸⁷) וכן הסיכון ל'מלחמת יתר' (Hyperwar).

מונח זה מתייחס למלחמה המתנהלת בהשפעתה של בינה מלאכותית, שתאפשר אוטומציה של קבלת החלטות. מדובר במצב שבו קבלת ההחלטות האנושית בזמן עימות כמעט לא תתאפשר בלולאה המקובלת של אבחנה-בחירה-החלטה-פעולה (OODA LOOP).¹⁸⁸ כתוצאה מכך, הזמן הקשור למחזור הלולאה יופחת לתגובות כמעט מיידיות. ההשלכות של התפתחויות אלה הן רבות ומשתנות.¹⁸⁹ אם מחברים לכך את הסיכונים הכרוכים בחימוש גרעיני או בחימושים אחרים, ניתן להבין את פוטנציאל ההיזק הנוראי לזירה הבינלאומית.

יחסי עוצמה ויצירת סדר עולמי חדש

אחד הגורמים בעלי השפעה ניכרת על עוצמתן של מדינות הוא היקף ואיכות האוכלוסייה שלהן, הן בהקשרים כלכליים והן בהקשרים של הגנה וביטחון לאומי.¹⁹⁰ על כן, מדינות שבהן אוכלוסייה גדולה יחסית בגילים יצרניים וכן בגיל גיוס נהנות מעוצמה רבה ביחס למדינות שבהן אוכלוסייה קטנה, או למדינות שבהן האוכלוסייה מזדקנת וקיים בה גידול שלילי. ואולם בעידן של בינה מלאכותית, האחרונות עשויות להיות מסוגלות לצבור עוצמה באמצעות שימוש בה (ובטכנולוגיות מתקדמות נוספות) באופן שימלא את החסר בתחום האוכלוסין. אפשר שכך ייווצר סדר עולמי חדש, שבמסגרתו מדינות שאוכלוסייתן קטנה אך הן מובילות מבחינה טכנולוגית יהיו בעלות עוצמה והשפעה רבה יחסית, בין היתר מתוקף יכולתן המוגברת לצאת למלחמה.¹⁹¹ כל זאת אף יותר ממה שמוכר לנו כיום, שכן ככל שהטכנולוגיות אוטונומיות יותר הן מצריכות פחות מעורבות אנושית, והדבר מקצין תופעות מוכרות מן ההיסטוריה.

עידן דו־קוטבי חדש: סין-ארצות הברית

סוגיית הסדר העולמי החדש קשורה ישירות גם לתחרות הגוברת בין סין לארצות הברית.¹⁹² מדינות אלו, המתחרות ביניהן בעיקר מבחינה כלכלית, נמצאות במרוץ גם בתחום הבינה המלאכותית, כפי שתואר, מתוך הבנה שהובלה בתחום זה עשויה להשפיע כמעט על כל תחום. מאז סיום המלחמה הקרה, שבמסגרתה העולם נהנה מיציבות בינלאומית יחסית, ועקב עידן חד־קוטבי בהגמוניה אמריקאית, התחרות בתחום הבינה המלאכותית עשויה להוות נדבך נוסף במאבק בין ארצות הברית לסין על ההובלה העולמית. יש חשש שמאבק זה יחזיר את העולם לעידן דו־קוטבי – חלוקה של הזירה הבינלאומית לשני גושים בהובלת שתי המדינות.¹⁹³

העמקת הפער בין מדינות מפותחות למדינות מתפתחות

התפתחויות בתחום הבינה המלאכותית עשויות להעמיק את הפער בין מדינות מפותחות למדינות מתפתחות, ולהגביל את יכולתן של האחרונות לפעול בזירה הבינלאומית ואולי אף בשמירה על ריבונותן.¹⁹⁴ פער זה עלול להוביל לגלי הגירה גדולים למדינות מתקדמות, או לבחירה של מדינות מסוימות או קבוצות בתוכן להגיב לאיומים בצעדים אלימים דוגמת טרור, עקב חוסר יכולת להתמודד עם האסימטריה הקיצונית שתיווצר בתחומי חיים רבים.¹⁹⁵ מדובר בתופעה קיימת כיום, שתוקצן מאוד בעקבות פערים עצומים שייפתחו בין מי שיש להם גישה לטכנולוגיות מתקדמות לבין מי שאין להם גישה כזו.

שיפור איכות החיים ויציבות הזירה הבינלאומית באמצעות הרתעה

לצד תחזיות פסימיות בנוגע להשפעתה של בינה מלאכותית על הזירה הבינלאומית קיימות גם תחזיות חיוביות, הקשורות בהערכות לגבי יכולתה של בינה מלאכותית להגביר את קצב הצמיחה הכלכלית הגלובלי,¹⁹⁶ למצוא מזור למחלות ולשפר את מערכות הבריאות,¹⁹⁷ לשפר את יעילות התחבורה ואת בטיחותה,¹⁹⁸ לעודד יעילות אנרגטית ולשפר את הבנת תופעות האקלים¹⁹⁹ ואולי אף להוביל ליציבות מבוססת שלום בזירה הבינלאומית, בין היתר באמצעות הרתעה.²⁰⁰

פרק 8

מה ניתן ללמוד מהמקרה של מערכות הנשק האוטונומיות?

מערכות נשק אוטונומיות הן אחד התחומים שלגביהם מתקיים הדיון הנרחב ביותר בנוגע לשימוש באוטונומיות ובבינה מלאכותית, בתחום הביטחוני בכלל ובשדה הקרב בפרט. מערכות אלו נמצאות כבר מספר שנים בלב דיון ציבורי בנוגע להגבלתן, ומאז שנת 2014 גם בדיון רשמי באו"ם. מקרה מבחן זה עשוי לאפשר לנו להרחיב את הלמידה בנוגע לחלק מן האתגרים שמציבה ההתפתחות הבינה המלאכותית.

אחת ההגדרות של מערכות נשק אוטונומיות (Autonomous Weapon Systems – AWS) היא מערכות המסוגלות לבצע פעולה קטלנית בלי מעורבות ישירה של אדם בפעולתן, כתוצאה מאינטראקציה בין הסביבה למערכת הממוחשבת²⁰¹ (עם זאת, גופים שונים מחזיקים בהגדרות שונות, רחבות יותר או אופרטיביות יותר).²⁰² מערכות נשק אוטונומיות נמצאות בשימוש בשדה הקרב, ביישומים שונים הנעים בין מערכות הגנה אקטיביות לבין מערכות המיועדות לרכישת מטרות ולתקיפת מטרות, על גבי פלטפורמות יבשתיות, אוויריות וימיות.²⁰³

אחת ההסתייגויות המרכזיות משימוש במערכות אלו קשורה במשמעויות מוסריות ומשפטיות של יכולתן של המערכות להוציא לפועל פעולה קטלנית שביסודה החלטה על חיי אדם, בלי שאדם אחר מעורב בתהליך. המתנגדים למערכות אלו טוענים כי השימוש בהן נוגד נורמות אתיות, שכן הן חסרות חמלה ורגישות אנושית. טענות מהזווית המשפטית מזכירות כי המשפט הבינלאומי ההומניטרי (International Humanitarian Law – IHL) אוסר על פגיעה במטרות אזרחיות שאינן מעורבות בלחימה ואינן חיוניות למאבק המזוין, וכן על פגיעה בלתי מידתית במטרות צבאיות,²⁰⁴ וכי מערכות אלו חסרות יכולת עמוקה של "הבחנה", החסרה לעיתים אף לבני אנוש.²⁰⁵ נוסף על עקרון ההבחנה, הדין הבינלאומי מכתיב את עקרון התגובה המידתית, הגורס כי הפגיעה במטרה צריכה להיעשות לפי אומדן של תרומתה וחשיבותה להצלחת מאמצי האויב.²⁰⁶ אומדן זה משתנה מרגע לרגע ומושפע ממאפייני הקרב והתקדמותו, וייתכן שאף בזירות רבות

במקביל – דבר שמערכות נשק אוטונומיות מתקשות (כיום) לשקלל בעת פעולתן,²⁰⁷ בעיקר לאור העובדה שאין אמות מידה חד-ערכיות שנקבעו בדין עבור עקרונות אלו, ושניתן לקודדם במערכת.

הקושי ביישום של עקרונות אלו במערכות אוטונומיות הוא רק דוגמה לקשיים שמציב החוק בפני שילובן של מערכות חדשות. קושי נוסף נובע משאלת החבות המשפטית, שכיום אינה בת-אכיפה כאשר אדם נעדר מקבלת ההחלטה. משמע, לא ברור מי יעמוד לדין במקרים שפעולתן של מערכות אלו תגרום תוצאות בלתי רצויות, הנוגדות את החוק הבינלאומי.²⁰⁸ דוגמה זו מלמדת כי בדומה למתרחש כיום בתחום מערכות הנשק האוטונומיות, כך גם מערכות בינה מלאכותית בתחומים שונים עשויות לאתגר את מערכות החוק והמוסר המקובלות ולאץ את האנושות לספק תשובות מעשיות לשאלות מורכבות. למעשה, ניתן להניח כי בכל מקום שבו אוטונומיות עלולה לסכן חיי אדם או לקבל החלטות בנוגע לחיי אדם, למשל בכביש וברפואה, עשויות להיווצר דילמות מוסריות ומשפטיות.

הדילמה השנייה הקשורה במערכות נשק אוטונומיות היא רגולטורית, הכוללת את בעיית הגדרת הטכנולוגיה ואת האתגר הכרוך בהגבלת פיתוחה. הדיון במערכות אלו מתנהל באו"ם מאז 2014 וביתר שאת מ-2016, אז הקים האו"ם ועדת מומחים (GGE) על מנת לדון בהגבלה אפשרית של פיתוח או שימוש במערכות אלו ושילובן בשדה הקרב.²⁰⁹ עם זאת, נכון לשנת 2020, המדינות החברות בוועדה עדיין לא הצליחו להגיע להסכמה אפילו בנוגע להגדרתן של מערכות נשק אוטונומיות, וכל שכן להציג המלצות להתמודדות עם אתגרים שהטכנולוגיה מציבה.²¹⁰ גם אם תצליח הוועדה להסכים על הגדרה, הגבלת פיתוחן של טכנולוגיות אלו מצריכה שיתוף פעולה של כלל המדינות, לרבות רוסיה וארצות הברית, שאינן ששות להגביל את הפיתוח.²¹¹ ייתכן שהדבר נובע מרצון המעצמות לעודד צמיחה כלכלית של תחום הבינה המלאכותית, תוך שמירה על שוק פתוח, וכן לשמור על עליונותן הצבאית – גם אם לבסוף יבחרו שלא להשתמש בה.²¹² על כן, מדינות אלו נוקטות גישה של החלת רגולציה על תחום מסוים רק לאחר פיתוח הטכנולוגיה, ולא הגבלת הפיתוח מראש.²¹³ הגבלת הפיתוח ואף השימוש במערכות אלו עלולה להיות קשה לביצוע בשל קצב הפיתוח הגבוה מצד אחד, וקצב ההתקדמות הרגולטורית האיטי מנגד.

נטען כי הקדמת המענים לדילמות האתיות הכרוכות בבינה מלאכותית ובטכנולוגיות מתקדמות תיטיב עם האנושות.²¹⁴ אולם בחינת המקרה של מערכות הנשק האוטונומיות מלמדת כי ספק אם בזירה המדינית והבינלאומית תתגבש הסכמה לגבי מסגרת רגולטורית, בשל אינטרסים מנוגדים של השחקנים השונים. מעבר לכך, האתגרים הצפויים עם הופעת הבינה המלאכותית בקנה מידה נרחב יושפעו מיכולת השינוי

וההתפתחות של המערכות, כתוצאה מיכולתן ללמוד. למשל, צפוי קושי להגדיר או להגביל אותן באמצעים המשפטיים והרגולטוריים הקיימים כיום. הדבר מלמד כי ההתפתחות הטכנולוגית בתחום הבינה המלאכותית עתידה להציב בפני מקבלי ההחלטות אתגרים מוסריים ומשפטיים, וכן רגולטוריים. אתגרים אלו קשים להתמודדות ברמה המדינית ומעבר לכך, ברמה הבינלאומית. בהתחשב במורכבות הסוגיה ניתן להניח שהיא תלווה את הזירה הבינלאומית גם בעתיד, ועל כן רצוי שמדינות יפעלו ויגבשו עמדה בנושא, כך שיבטיחו את האינטרסים שלהן.



בינה מלאכותית וביטחון לאומי בישראל: הזדמנויות ואתגרים

”

המחקר המדעי דרוש לא רק לצורכי ביטחון, כל פעולתנו המשקית והתרבותית לא תתואר בלי שימוש מקסימלי וכולל בכיבוי המדע והטכניקה. פיתוח הארץ, קידום החקלאות, התעשייה, הימאות, החינוך, הבראת האומה – מחייבים כולם טיפוח המדע עד קצה יכולתנו השכלית והחומרית. הוא הדין בצורכי הביטחון.

“

דוד בן־גוריון, ראש הממשלה הראשון של ישראל

פרק 9

בינה מלאכותית בישראל

ישראל היא מובילה טכנולוגית עולמית. מעמדה זה בא לידי ביטוי הן בתחומים האזרחיים והן בתחומים הביטחוניים. בשנים האחרונות הפכה הבינה המלאכותית לאחד התחומים שבהם יש לישראל דריסת רגל ניכרת, בזכות חברות הזנק הצומחות בארץ וכן העלייה לרגל והקמת מרכזי פיתוח של חברות בינלאומיות בישראל. כמו כן, נושא הבינה המלאכותית הולך ותופס נתח נכבד בתחום הפתרונות הביטחוניים, שכן יישומים כאלו מוטמעים בטכנולוגיות ביטחוניות רבות ומעצימים את יכולותיהן. לישראל מספר מאפיינים ייחודיים המשפיעים על היבטים אלה, ופרק זה יתאר את תחומי ההובלה לרבות האקוסיסטם הייחודי ויחסי הגומלין בין רכיביו השונים.

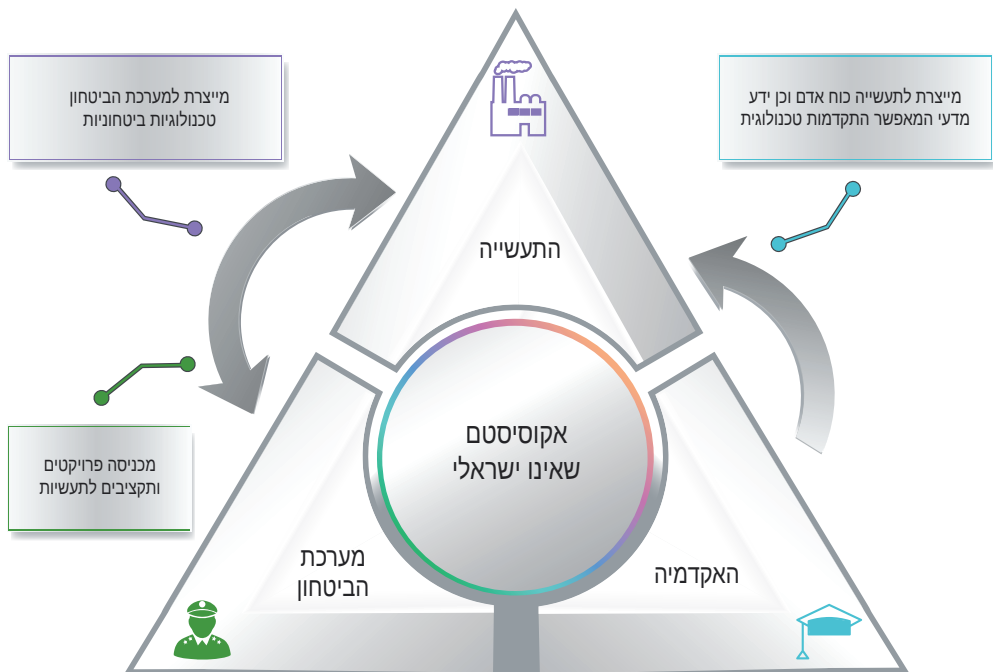
העוצמה הטכנולוגית בישראל

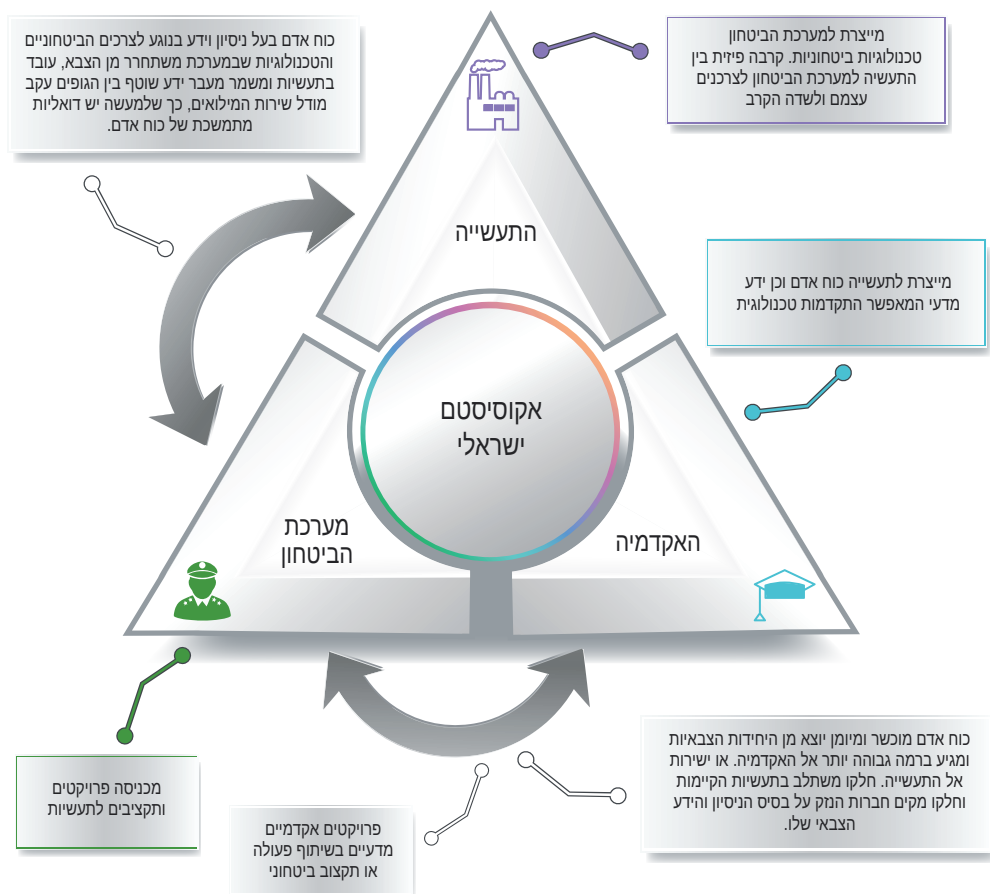
ישראל ידועה כבעלת עוצמה טכנולוגית רבה ואף מכונה "אומת סטארט-אפ"²¹⁵, בהתחשב במספר חברות ההזנק הרב ביחס לגודל אוכלוסייתה. טכנולוגיות ויכולות בתחומי התקשורת שפותחו במערכת הביטחון בשילוב עם האקדמיה הקנו לישראל יכולת לנצל את התפתחות האינטרנט בשעתו. חברות ישראליות רבות שקמו בשנות ה-90 של המאה ה-20, ביניהן צ'קפוינט, אמדוקס ונייס, ביססו את מעמד המדינה כמעצמה בתחומי התקשורת, האבטחה, אחסון המידע והמוליכים למחצה. זאת ועוד, בישראל קיימת תרבות יזמית שהביאה לצמיחתן של חברות חדשניות, התורמות במידה רבה לאקוסיסטם הטכנולוגי המוצלח.²¹⁶

ההבנה כי ישראל חייבת לפצות על היעדר משאבים טבעיים ועל משאבי אנוש מצומצמים ביחס לאויביה באמצעות איכות כוח האדם ואיכות טכנולוגית שררה כבר בימי הקמתה, ונחרטה בתפיסת הביטחון של ראש הממשלה הראשון דוד בן-גוריון. במהלך השנים הלכה ורבתה ההצלחה בתחומים אלו. היצוא הביטחוני, למשל, צמח והפך את ישראל לאחת מיצואניות הנשק הגדולות בעולם, והתעשיות הביטחוניות הפכו את ישראל למעצמה טכנולוגית ועסקית שמדינות רבות נסמכות על יכולותיה ומעוניינות לרכוש אותן או להיעזר בהן.

היתרון התחרותי של התעשייה הביטחונית הישראלית בשוק הבינלאומי נובע מהקשר ההדוק שלה עם צה"ל, עקב הסתמכות התעשיות על גופי הביטחון כמאיצי תהליכי מחקר, פיתוח ומבצוע (הפיכתן למבצעות), המקדמים את המכירות.²¹⁷ "אלמנט ההזנה הכפולה" (מעבר של כוח אדם בין צה"ל לבין התעשיות) – בין היתר בגלל מודל שירות החובה ושירות המילואים הייחודי לישראל – משפיע גם הוא על מעבר ידע ועל הזנה הדדית של הגורמים האמונים על העוצמה הטכנולוגית של ישראל. בשל כך שונה האקוסיסטם הישראלי מזה של מדינות רבות אחרות, כפי שמוצג באיורים.

האקוסיסטם הישראלי במבט השוואתי





האקוסיסטם הישראלי ובינה מלאכותית

האקוסיסטם הישראלי מורכב מגופי ביטחון, מהאקדמיה ומהתעשייה ופועל בשיתוף פעולה בין חלקיו השונים, כאשר יש מעבר של רעיונות והון אנושי בין חלקיו. כך למשל, האקדמיה הישראלית תורמת לפיתוחים באמצעות מחקרים חשובים שהבשילו בעשור האחרון, שכן תחום הבינה המלאכותית מצריך מרכזי מחקר אקדמיים שיאפשרו מחקר תשתיתי, שעל בסיסו יפותחו מערכות שונות.²¹⁸

נוסף על כך התפתחו מרכזי מחקר בתעשיות המובילות ובחברות הענק הטכנולוגיות, ולצידן פועלות אלפי חברות הזנק חדשניות. בתחום הבינה המלאכותית חל גידול משמעותי בתעשייה. בין 2014 ל-2018 חל גידול של 120 אחוזים במספר החברות העוסקות בתחום, מ-512 ל-1,150, חלקן מפתחות טכנולוגיית ליבה של בינה מלאכותית וחלקן מפתחות טכנולוגיות הנתמכות על ידה, דוגמת כלי רכב אוטונומיים ואבטחת

סייבר.²¹⁹ חברת האנליסטים 'גרטר' דירגה את ישראל כמובילה בעולם של "חברות מגניבות" (cool and hot vendors) בשנת 2017, מעל סין ובריטניה.²²⁰ קיומן של חברות אלו מתאפשר בין היתר הודות לאקוסיסטם הייחודי המתקיים בישראל. שנת 2018 הייתה נקודת שיא עד כה בגיוס מימון לחברות העוסקות בבינה מלאכותית בישראל. הסכום שגויס עמד על 2.25 מיליארד דולר²²¹ – עדות לצמיחה מהירה של שוק זה.

גם בגופי הביטחון והצבא חלה התפתחות מרשימה, בפרט לצורכי מודיעין – סיוע להתמודדות עם מקורות מידע שונים בהיקף נרחב – ולפעילות מבצעית. מעבר לעיבוד נתונים והסקת מסקנות, מערכות אוטונומיות שונות דוגמת רחפנים, רובוטים, חיישנים וכלי רכב נמצאות בשלבי פיתוח ואף בשימוש, ככל הנראה בחזית הידע והיכולת בעולם.²²² בישראל ישנן אפשרויות לחיבור מהיר בין האקדמיה, התעשייה האזרחית-מסחרית וגופי הביטחון ברמה ארגונית, חברתית ומקצועית, הודות ל"יתרון הקוטן". מעבר לקרבה פיזית, לחדשנות וליצירתיות, האקדמיה והתעשייה בישראל חולקות "שותפות גורל" שמסייעת לרתום אותן לשיתוף פעולה ביטחוני למען המדינה.²²³

מעבר לכך, ל"יתרון הקוטן" מספר משמעויות נוספות. המרחק הפיזי הקצר בין חלקי הארץ וריכוז חלק ניכר מהחברות הטכנולוגיות באזורים שאינם רחוקים ממוקדי ממשל או ביטחון מסייעים לחיזוק שיתופי פעולה. הדבר שונה מאוד מן המתרחש בארצות הברית, לדוגמה, שם קיים מרחק גיאוגרפי ניכר (ופער שעות) בין וושינגטון הבירה לבין עמק הסיליקון – מרכז פיתוח הטכנולוגיה במפרץ סן פרנסיסקו. מעבר לכך, התרבות הישראלית והקשר הבלתי אמצעי בין בכירים לזוטרים במקומות רבים (כולל ביחידות מסוימות בצבא) וכן אווירה פתוחה ויזמית (ביחס למדינות שבהן התרבות יותר היררכית וביורוקרטית) מסייעים לתנועה של רעיונות וליכולת להגיע להישגים. נראה כי בתחום הבינה המלאכותית אין לישראל יתרונות מיוחדים, בתחומים כגון נתוני עתק או חומרה, אולם עוצמתו של האקוסיסטם הישראלי יוצרת את היתרון היחסי שלה בתחום. עם זאת, גודלה של ישראל ומשאביה המוגבלים יוצרים גם אתגרים ולכן יש צורך לשים דגש על שילוב בין יתרונות יחסיים שונים, לצורך יצירת מכפילי כוח.

יתרונות טכנולוגיים נוספים של ישראל ושילוב כוחות עם בינה מלאכותית

לישראל עוד תחומים שבהם היא נהנית מיתרון טכנולוגי יחסי, והם מהווים חלק עיקרי ממה שמקנה לה את עוצמתה וחלק מהשפעתה בזירה הבינלאומית. אחד מן התחומים הללו הוא פיתוח, ייצור ויצוא של מטוסים ללא טייס, בצד הניסיון המבצעי הנרחב שיש לישראל בתחום. עוד בשנות ה-60 וה-70 ישראל השתמשה במל"טים לצורכי צילום, ובשנות ה-80 החלה להשתמש בהם עבור הטעיה ואיסוף. בשנות ה-2000 היה עיקר השימוש במל"טים לצורכי איסוף מודיעין בעימותים אסימטריים, כאשר נקודת המפנה חלה במלחמת לבנון השנייה. זו המלחמה הראשונה בהיסטוריה שבה

בוצעו יותר שעות טיסה בלתי מאוישות משעות טיסה של מטוסי קרב, ובמהלכה שהו מל"טים ברצף מעל אזור הלחימה לאורך כל העימות.²²⁴ נקודת מפנה זו מדגימה את היכולות והניסיון שהיו לישראל בתחום כבר ב-2006. מאז ממשיכה ישראל להשקיע בתחום ובשנים האחרונות סגרה עסקאות גדולות עם מדינות דוגמת הודו וגרמניה.²²⁵ זאת ועוד, ישראל היא אחת המדינות המובילות גם בפיתוח, בייצור ובשימוש במערכות בלתי מאוישות מסוגים נוספים. חלק ממערכות אלו נהנות מרמה מסוימת של אוטונומיות. בין אלה ניתן למנות רכבי סיור בלתי מאוישים, מערכות רובוטיות קרקעיות וכן חימושים משוטטים דוגמת ההארופ (Harop) וההארפי (Harpy), הנחשבים בזירה הבינלאומית למערכות נשק אוטונומיות.²²⁶ לפי דיווחים ממקורות זרים, מערכות ישראליות אלו נרכשו על ידי מדינות רבות בעולם כולל סין, גרמניה, הודו, קוריאה הדרומית, טורקיה, אוזבקיסטן ואזרבייג'ן.²²⁷ באופן כללי ישראל הייתה היצואנית המובילה בעולם בתחום המל"טים בין השנים 2005 ל-2013, כאשר נתח השוק הישראלי ביצוא עמד על 4.62 מיליארד דולר.²²⁸

חלק נוסף מעוצמתה של ישראל בתחום נובע מן הרצון של מדינות לשתף פעולה איתה על מנת ליהנות מן הידע והניסיון המשמעותי שצברה לאורך השנים בתחומים טכנולוגיים. למשל, ישראל ויפן הכריזו על מחקר משותף בתחום הרחפנים הצבאיים ומערכות מעקב לא מאוישות (unmanned surveillance systems). ניתן למנות גם שיתוף פעולה ישראלי-אמריקאי בתחום ההגנה מפני מערכות אוויריות לא מאוישות.²²⁹ מעבר ליצירת קשרים וחיזוקם, ישראל מנצלת את יתרונה בתחום גם לצבירת הישגים ביטחוניים בזירה הבינלאומית. כך למשל בעבר, בתמורה לעסקת מל"טים ישראל גרמה לרוסיה להימנע ממכירת מערכת הגנה אווירית מסוג S-300 לאיראן.²³⁰

תחומים נוספים שבהם לישראל יתרון יחסי משמעותי והובלה עולמית הם אבטחת סייבר ולוחמת סייבר. כחלק מתהליך "ההזנה הכפולה", תלמידים מוכשרים מגויסים ליחידות טכנולוגיות צבאיות מובילות דוגמת 8200, מקבלים בהן הכשרה וניסיון משמעותי, ועם שחרורם משתלבים בחברות הזנק או מקימים חברות כאלו בעצמם, רבות מהן בתחום אבטחת סייבר. כתוצאה מהשירות הצבאי המעניק ניסיון מקצועי הם מסוגלים להתמודד עם סוגיות מורכבות באופן יעיל ומהיר יותר מאשר בוגרי אוניברסיטאות או יזמים צעירים, שחסרים את הניסיון המעשי וההכשרה הצבאית. נוסף על כך, לישראל רשות לאומית לסייבר, שמפקחת על מתא"ם (מרכז תיאום אירועי אבטחת מידע) ופועלת בתיאום עם המגזר הפרטי.²³¹ הדבר מהווה מודל ברמה העולמית להתמודדות מתואמת ולניהול סוגיות ומשאבים בתחום. גם התעשיות הביטחוניות הישראליות מקדישות בשנים האחרונות משאבים ומאמצים רבים בתחום הסייבר, כדי לשמר את היתרון התחרותי הישראלי ולהימנע מתלות.²³² סקר חברות שערך

מוסד שמואל נאמן בתחומי בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה מצא כי אבטחת סייבר ניצבת בראש סוגי הטכנולוגיות שבהן לישראל היכולת להוביל.²³³ יתרון יחסי נוסף לישראל קיים בתחום תעשיית הרכב האוטונומי. העוצמה הישראלית טמונה בפיתוח וביישום טכנולוגיות משלימות למערכות אוטונומיות, לרבות חיישנים ומערכות תכנון נסיעה, ולאחרונה המדינה מאפשרת בשטחה יותר ויותר ניסויים של כלי רכב אוטונומיים בסביבה אמיתית. שורת מיזמים בתחום פועלים בארץ וכוללים ניסויים טכנולוגיים של כלי רכב אוטונומיים שמבצעות חברות ענק לצד חברות הזנק קטנות, וכן מספר ניסויים לשירותי הסעות בכלי רכב אוטונומיים.²³⁴ חברות דוגמת ג'נרל מוטורס ומרצדס מפתחות טכנולוגיות אוטונומיות לרכב בישראל, ופולקסווגן חברה למובילאיי הישראלית לפיתוח שירות מוניות אוטונומיות. לפי דוח של חברת KPMG המעניקה שירותים פיננסיים וייעוץ ארגוני, אשר בחן את מוכנותן של מדינות לכניסת כלי רכב אוטונומיים, ישראל ניצבת במקום הראשון מתוך 25 בתחומי הטכנולוגיה והיזמות, בעיקר הודות לניסיון הצבאי של יזמיה.²³⁵

התחומים הטכנולוגיים שהוזכרו כאן מושפעים באופן הדוק מההתפתחויות בתחום הבינה המלאכותית, וביכולתה לשפר את ההישגים בתחומים אלו ולהבטיח שימור של היתרון הישראלי היחסי בהם. מעבר לכך, שילוב בין היכולות בתחומים השונים עשוי להוות מכפיל כוח משמעותי עבור ישראל. בהתחשב בגודלה של ישראל ובמגבלת כוח האדם שלה, שימת דגש על שילוב בין הנושאים לצורך ניסיון להגדיל את היתרון היחסי אינה רק פוטנציאל למכפיל כוח אלא גם הכרחית. לכן רתימת האקוסיסטם הישראלי, שמציג כבר כעת יכולות איכותיות בתחום הבינה המלאכותית, תוך התבססות על יתרונות טכנולוגיים קיימים, עשויה להבטיח לישראל עוצמה טכנולוגית ביטחונית מבוססת לטווח ארוך.

פרק 10

בינה מלאכותית, ביטחון לאומי בישראל ואסטרטגיית צה"ל

על מנת לעסוק בסוגיה של בינה מלאכותית וביטחון לאומי, יש להבין לא רק את הטכנולוגיה ויכולותיה אלא גם את המושג ביטחון לאומי עצמו. מושג זה שנוי במידה מסוימת במחלוקת שעיקריה פוליטיים, תרבותיים או זירתיים-סביבתיים. פרק זה מציע תיאור של המושג הכללי, וכן התייחסות פרטנית לתפיסת הביטחון של מדינת ישראל שעומדת במרכזו של המסמך.

מהו ביטחון לאומי

ביטחון לאומי הוא היכולת של אומה להגן על אזרחיה ועל ערכיה הפנימיים מפני איומים, ביניהם מדינות עוינות וארגוני טרור.²³⁶ או במילים אחרות "הבטחת הקיום הלאומי והגנה על אינטרסים חיוניים".²³⁷ הגדרה נוספת, מעט מרחיבה יותר היא "השימור של נורמות, כללים מוסדות וערכיה של חברה".²³⁸

למרות שההתייחסות ההיסטורית והתאורטית לסוגיה מדגישה היבטים צבאיים, כיום רווחת התייחסות נרחבת יותר לסוגיית הביטחון הלאומי. מלבד האיום הביטחוני-צבאי החיצוני, האו"ם למשל כלל בה שבעה נדבכים:

- כלכלה: יצירת תעסוקה והפעלת אמצעים למניעת עוני.
- מזון: אמצעים למניעת רעב ומחסור במזון.
- בריאות: אמצעים למניעת מחלות, מזון לא בטוח, תת-תזונה וחוסר גישה לטיפול רפואי בסיסי.
- איכות הסביבה: צעדים נגד פגיעה סביבתית, דלדול משאבים, אסונות טבע וזיהום.
- ביטחון אישי: אמצעים למניעת אלימות פיזית, פשע, טרור, אלימות במשפחה ועבודת ילדים.
- קהילה: צעדים נגד מתחים בין-אתניים, דתיים ואחרים.
- ביטחון פוליטי: צעדים נגד דיכוי פוליטי והפרת זכויות אדם.²³⁹

את הפער שיכול להיווצר בין ההגדרות התאורטיות לבין המציאות אפשר לנסות לסגור באמצעות בחינה וניתוח תפיסות ביטחון לאומי של מדינות, המהוות לרוב את הביטוי של מטרותיהן הלאומיות ביחס ליכולת ולאתגרים המשפיעים על השגתם, ולדרכים ולמשאבים שבאמצעותם הן מתכוונות לפעול להשגת מטרות אלה.

תפיסת הביטחון של ישראל

בשונה ממדינות רבות בעולם, תפיסת הביטחון העדכנית של ישראל אינה מעוגנת במסמך רשמי שאושר על ידי הכנסת או הממשלה. כיום מקובל להתייחס אל הבאים כאל היסודות שעליהם ניצבת תפיסת הביטחון: הרתעה, התרעה והכרעה, שאליהם נוסף ברבות השנים יסוד ההגנה או ההתגוננות. יעדה המרכזי של התפיסה הוא להבטיח את קיומה של מדינת ישראל, ליצור הרתעה אפקטיבית, לנטרל איומים ולדחות עימותים, כאשר תפקידו של נדבך זה הלך וגדל עם השנים, בין היתר עקב עלייה באיום הטרור ושימוש של ארגונים בגבולה של ישראל בנשק תלול מסלול לעבר העורף האזרחי.²⁴⁰ בפתח המאה ה-21, מקובל לכלול במושג 'הביטחון הלאומי של ישראל' חמישה ממדים מרכזיים:

- ביטחון החוץ והפנים.
- יחסי החוץ ומעמדה הבינלאומי של ישראל.
- הכלכלה והמשאבים הלאומיים.
- משילות (הבאה לידי ביטוי ביכולת לקבל החלטות ולממשן).
- עוצמתה של החברה האזרחית.²⁴¹

ברבות השנים ונוכח אותם שינויים משמעותיים בישראל ובסביבתה הוקמה ועדה בראשותו של דן מרידור, שעסקה לעומק בסוגיה והגישה את מסקנותיה בשנת 2006. מקובל להתייחס למסמך זה (שחלקים גדולים ממנו חסויים) בתור הדבר הקרוב ביותר לתפיסת הביטחון הרשמית של מדינת ישראל, לאור העובדה שהוא אומץ על ידי שאול מופז, שר הביטחון דאז, ושחלקים ממנו יושמו בפועל, וזאת חרף העובדה שלא נערכה לגביו הצבעה בקבינט או בממשלה והוא לא אושר באופן רשמי.²⁴²

הדוח מונה את היעדים הלאומיים שבבסיס תפיסת הביטחון של ישראל, אשר היוו את הבסיס לעבודת הוועדה:

- הבטחת קיומה של מדינת ישראל, הגנה על שלמותה הטריטוריאלית ועל ביטחון אזרחיה ותושביה.
- שמירה על ערכיה ועל צביונה של מדינת ישראל – מדינה יהודית ודמוקרטית ובית לעם היהודי.
- הבטחת יכולתה של מדינת ישראל לקיים חוסן כלכלי-חברתי כמקובל במדינה מתקדמת.
- חיזוק מעמדה הבינלאומי והאזורי של מדינת ישראל וחתירה לשלום עם שכניה.²⁴³

כמו כן מתייחס הדוח אל אתגרים שונים העומדים בפני ישראל, כמו למשל אתגר הנשק הבלתי קונוונציונלי, אתגר הטרור ואתגר העימות עם צבאות סדירים, וכן מציע דגשים מרכזיים במדיניות המענה בראייה כוללת.²⁴⁴ מעבר לכך מתייחס הדוח גם לסוגיות מרכזיות נוספות העומדות על סדר יומה הביטחוני של ישראל, ובהן הסוגיה הפלסטינית, הזירה הבינלאומית-מדינית, משאבי הביטחון, "צבא העם", היתרון האיכותי ותהליכי קבלת ההחלטות, במקביל להערות שהוא מעלה בנוגע למודיעין הלאומי ולתהליך יישומה של תפיסת הביטחון ועדכונה.²⁴⁵

במזכר פרי עטם של דן מרידור ורון אלדדי, הבוחן את דוח הוועדה בחלוף עשור לפרסומו, נטען כי המסקנה שלא נשקפת בטווח הנראה לעין סכנה קיומית לישראל מאיום צבאי קונוונציונלי, בעיקר לאור עוצמתה ועליונותה הצבאית של ישראל אל מול חולשתו הגוברת של העולם הערבי, עדיין תקפה.²⁴⁶ במקביל מתייחס המסמך גם לגורמים שהשתנו מאוד בעשור החולף, למשל הפוטנציאל של ממד הסייבר, שהפך לטענת הכותבים לגורם מפתח מהמעלה הראשונה בתפיסת הביטחון במישורים של הרתעה, הגנה והתקפה. גורם נוסף הוא עליית משקלם של המרכיבים ה"רכים" ובתוכם תודעה, תקשורת, משפט ואחרים, לצד הצורך לחזק את שיתופי הפעולה עם גורמי מפתח בזירה הבינלאומית והאזורית.²⁴⁷

לסיכום, ניכר כי חרף היעדרו של מסמך רשמי שאושר על ידי גורם ממשלתי, אפשר להבין הן באמצעות מסמכי עבר, הן באמצעות מדיניות בפועל והן באמצעות דוח ועדת מרידור, מה הם הקווים הכלליים לתפיסת הביטחון של מדינת ישראל. זאת למרות העובדה שמעת לעת, בין היתר עם שינוי נסיבות מדיניות, אזוריות או בינלאומיות, עשויה התפיסה להשתנות. לכל הפחות ניתן לעמוד על יסודותיה המרכזיים, שחלקם לא השתנו מאז קום המדינה וחלקם האחר אומנם חדש יותר, אך קיבל משנה תוקף נוכח אימוץ, השקעה ויישום בשני העשורים החולפים.

כיצד עשויה בינה מלאכותית להשפיע על הביטחון הלאומי בישראל?

התקדמות מהירה בהתפתחות הטכנולוגית יוצרת סיבות להאמין כי בינה מלאכותית תשפיע בצורה נרחבת על הביטחון הלאומי של מדינות שונות. חשיבה זו ניכרת לא רק בהנחות של חוקרים או בכירים בתחום, אלא גם בתוכניות לאומיות ובהשקעות תקציביות של כמה מהמדינות המובילות בעולם וביניהן ארצות הברית, סין ורוסיה. כמדינה בעלת יכולות מתקדמות בתחום הבינה המלאכותית וכן בעלת צרכים נרחבים בתחום הביטחון הלאומי, ישראל יכולה להרוויח רבות משימוש בבינה מלאכותית על יישומיה ויתרונותיה, לצורך השגה ושימור של יעדי הביטחון הלאומי שלה.

נראה כי לבינה מלאכותית פוטנציאל השפעה משמעותי על כל אחד מחמשת הממדים המרכזיים של הביטחון הלאומי בישראל בפתח המאה ה-21:

- ביטחון החוץ והפנים – בין היתר באמצעות שימוש של מערכת הביטחון ביישומי בינה מלאכותית בתחומי מודיעין, מערכות נשק ומערכות צבאיות אחרות.
- יחסי החוץ ומעמדה הבינלאומי של ישראל – בין היתר באמצעות שימור מעמדה של ישראל כמובילה טכנולוגית ויצוא טכנולוגיות וידע.
- הכלכלה והמשאבים הלאומיים – באמצעות פיתוח והשקעה בבינה מלאכותית כתחום מוביל במשק הישראלי, הנסמך רבות על טכנולוגיה (לא על משאבים טבעיים).
- משילות – פיקוח על קבלת החלטות וביצוען ותמיכה בקבלת החלטות וסימולציות.
- עוצמתה של החברה האזרחית – שיפור איכות החיים של האזרחים בישראל.

גם ניתוח של ארבעת היסודות הבסיסיים של תפיסת הביטחון של ישראל – הרתעה, התרעה, הכרעה והגנה – מלמד כי לבינה מלאכותית יש פוטנציאל להשפעה חיובית על היכולת להשיג ולשמר כל אחד מהם, באמצעות שילובה במערכות צבאיות שונות או יצירתן של חדשות.

בינה מלאכותית יכולה לסייע במידה רבה בהשגת חלק ניכר מהיעדים שהוצגו באסטרטגיית צה"ל (2018) על ידי הרמטכ"ל גדי איזנקוט. האסטרטגיה מונה ארבעה סוגי מאמצים בסיסיים הרלוונטיים לכל פעולה צבאית: התקפיים, הגנתיים, מסייעים ומאפשרים.²⁴⁸ עבור קידום של כל אחד ואחד ממאמצים אלה מוזכרת חשיבותה של העליונות הטכנולוגית, והבינה המלאכותית היא תחום מרכזי שיש לייצר ולשמר בו עליונות.

לדוגמה, כבר כיום נעשה שימוש בבינה מלאכותית במערכות הגנה אווירית, שהן בעלות השפעה ניכרת על המאמץ ההגנתי. כמו כן, שימוש נרחב בבינה מלאכותית בתחומי המודיעין והתקשוב מסייע לשפר יכולות שהן רלוונטיות להיבט ההתרעה. בינה מלאכותית יכולה לסייע רבות לצה"ל גם בתחום הלמידה והתכנון המבצעי (המוזכר גם הוא במסמך אסטרטגיית צה"ל),²⁴⁹ בין באמצעות מערכות תכנון וסימולציה ובין באמצעות שימוש בטכנולוגיות. הן מאפשרות להגיע למסקנות שלא ניתן היה להגיע אליהן בעבר באמצעות מאמץ אנושי, עקב הקושי להתמודד עם כמויות הנתונים הרבות וניתוחן.

נוסף על כך, לישראל יתרון יחסי בתחומים טכנולוגיים, בין היתר הכלים הבלתי מאוישים והסייבר, שהם תחומים ביטחוניים מובהקים. השילוב ביניהם לבין בינה מלאכותית כמכפיל כוח עשוי לסייע רבות לישראל בשימור הביטחון הלאומי ובהרחבתו, בין בדרכים צבאיות ובין דרך השפעות כלכליות ובינלאומיות אחרות.

פרק 11

אתגרים

לצד ההתפתחות הטכנולוגית המהירה בתחום הבינה המלאכותית, עולה גם שורת אתגרים מגוונים בזירות שונות – זירת הפיתוח הטכני, זירת הארגון, זירת השימוש והזירה הביטחונית-מדינית. הדיון באתגרים נדרש על מנת לבחון דרכי התמודדות אפשריות עימם, במסגרת מדיניות סדורה.

אתגרים טכניים	אתגרים בשימוש	אתגרים ארגוניים	אתגרים ביטחוניים ומדיניים
פיתוח	התאמת קצב	תקציבים ייעודיים	מוסר בלחימה
התאמה של טכנולוגיה אזרחית לשימוש צבאי	קושי בהסתגלות	משאבי אנוש	חוק ומשפט
סטנדרטיזציה	בטיחות ואמינות	אתגר הקוטן	תלות
חומרה ואנרגיה	תוצאות בלתי צפויות	יחסם של בכירים לנושא	בינה מלאכותית בידי "הצד השני"
אתגרים בהטמעה	אדם מחוץ לחוג או בתוך החוג	פוליטיקה והתנגדות לשינויים ארגוניים	מרוץ החימוש
קביעת תצורה	מוסר	הקשר עם התעשייה האזרחית	בקרת נשק
דאטה	הטיות	חוסר אמון ופערים בין התחום האזרחי לביטחוני	לוחמת סייבר
"הקופסה השחורה" – הסברתיות	מידע כוזב – האתגר המבצעי		נשק גרעיני
			מלחמת יתר
			מידע כוזב
			שוק העבודה והתעסוקה
			אישוויון קיצוני בחלוקת המשאבים בחברה

אתגרים טכניים

אתגרי פיתוח

מערכת היחסים בעבר בין הצבא, התעשייה והאקדמיה התנהלה כשהצבא מוביל בפיתוח טכנולוגי, והטכנולוגיות שפיתח אומצו על ידי חברות מסחריות והאקדמיה. בשנים האחרונות חל היפוך: חברות מסחריות הן המבצעות את עיקר הפיתוח, ואילו הצבא מאמץ את הטכנולוגיה תוך התאמתה לצרכיו.²⁵⁰ כך נוצר קושי בפיתוח טכנולוגי ביטחוני איכותי, כאשר הידע המקצועי אינו נמצא בהכרח בתוך הצבא. בעוד שבתחום הבינה המלאכותית חברות אזוריות נשענות על אנשי אקדמיה בכירים או על גוף אקדמי מוביל, מערכת הביטחון מאותגרת בכל הקשור לפיתוח ידע או למוצרים מבוססי בינה מלאכותית. זאת ועוד, ניכר כי מערכת הביטחון כמעט אינה עוסקת במחקר ופיתוח עצמאיים, שמייצרים תשתית ליכולות ייחודיות עתידיות החיוניות להשגת יתרון יחסי. עם זאת, מערכת הביטחון נמצאת כיום בתהליך של ניסיון להדביק את הפער מול התעשייה האזרחית.

התאמה של טכנולוגיה אזרחית לשימוש צבאי

קיים אתגר בהתאמה של טכנולוגיה אזרחית לשימוש צבאי בשל הצרכים השונים, שמובילים לכך שהאלגוריתם יספק פתרון שונה כתוצאה מאימון עבור צרכים שונים.²⁵¹ הקושי בהתאמה נובע בין היתר גם מאתגר code-to-product – המעבר משורות קוד מבוססות מחקר תאורטי למוצר שניתן לשימוש בשטח. העיסוק האקדמי והתעשייתי בבינה מלאכותית בא לידי ביטוי בנטייה להשקעה במחקר ולא בייצור. במקרים רבים, גם כשהמחקרים מתקדמים מאוד הם אינם ישימים עבור גופי ביטחון – בין מטעמים טכניים דוגמת כוח עיבוד ובין משום שהם נלקחים מבעיות הקשורות לעולם האזרחי, שלא תמיד עולות בקנה אחד עם הצורך הביטחוני.

סטנדרטיזציה

סטנדרטיזציה בתחום הביצועים והבטיחות שונה בשוק האזרחי מזו המקובלת בזירה הביטחונית. לכך מתווספת העובדה שמחקרים מצביעים על החרפה בכשלים של מערכות בינה מלאכותית בסביבות מורכבות, מחוץ למעבדה, מה שמגביר את הקושי של המגזרים לעבוד זה עם זה.²⁵² מדובר במקור לבעייתיות ולעיכובים בשילוב פיתוחים שמקורם אזרחי בתחומים ביטחוניים.

חומרה ואנרגיה

מערכות בינה מלאכותית מצריכות יכולות מחשוב ועיבוד אדירות, ולשם כך נדרשים קירור ואספקת חשמל. גורמים מעטים מצליחים לעמוד בצריכת האנרגיה הדרושה

לשרתים מהסוג הזה, הן מבחינת יכולת האספקה והן מבחינת העלויות. גוגל למשל מתמודדת עם קושי זה בעזרת מערכות בינה מלאכותית המסייעות לה לצמצם את צריכת האנרגיה של מרכזי הדאטה בכ-30 אחוזים.²⁵³ בפייסבוק מנסים להתמודד עם הסוגיה באמצעות הקמת מרכז דאטה בקרבת הקוטב הצפוני, בצפון שוודיה, כדי לרתום את האקלים הטבעי של האזור לקירור הנחוץ למרכזים.²⁵⁴ עם זאת, ההתייעלות בתחום זה היא עדיין שולית ביחס להתפתחויות בתחומים אחרים הקשורים לבינה מלאכותית, וגורמים שאינם חברות הענק שהוזכרו, כולל מדינות, מתקשים להתמודד עם האתגר. מעבר לכך קיים אתגר כללי הקשור לצורך בחומרה חזקה דיה, שתאפשר את יכולת העיבוד הנדרשת ליישומים מתקדמים. כיום אין בישראל מספיק שרתים ואין תשתית לאומית בתחום הבינה המלאכותית. זאת בשונה מתחומי מחשוב ומדע אחרים, שבהם השקעה רבה בתשתיות לאומיות אפשרה הובלה בינלאומית בתחום.

אתגרים בהטמעה

'מערכות מורשת' הוא הכינוי המקובל למערכות צבאיות יקרות האמורות לשרת את גופי הביטחון בטווח הארוך, שכן תקופת החיים שלהן ממושכת והחלפתן אינה תכופה, למשל מטוסים וטנקים. הטמעה של בינה מלאכותית במערכות כאלו היא אתגר, שכן קצב השינויים בתחום הבינה המלאכותית הוא מהיר ודינמי, בעוד מערכות מורשת הן לרוב פלטפורמות המשרתות באופן דומה למדי במשך שנים.

קביעת תצורה

קצב השינוי המהיר מאתגר את המערכת הביטחונית הבירוקרטית גם בסוגיות של קביעת תצורה, שאליה מורגלת המערכת הביטחונית. בפיתוח מערכות ומוצרים חדשים במערכת הביטחון נבחנות מספר אפשרויות לשימוש, וזו המועדפת נבחרת כתצורה הקבועה של המערכת. לאחר מכן תצורה זו מופצת עם הוראות השימוש. בינה מלאכותית משתנה כל הזמן ומקשה על קביעת תצורה כזו. בכך היא עתידה לאתגר את מערכת הביטחון בנוגע לקבלת החלטה אם המוצר שברשותם טוב דיו להפצה לצרכנים בגופי הביטחון השונים.

דאטה (נתונים)

דאטה (נתונים) היא אבן היסוד לפיתוח בינה מלאכותית איכותית, שכן היא מאפשרת לאמן את האלגוריתמים ומכינה אותם לפעולה אוטונומית. יש אף המתייחסים אל הדאטה כאל "הנפט של העידן החדש". היעדר דאטה מספקת מציב אתגר ליכולתה של מערכת הביטחון להשתמש בבינה מלאכותית. למשל, בתחום הביטחוני שבמסגרתו רווח השימוש בחיישנים מזה מספר שנים, הדאטה לרוב נמחקה מעת לעת, עקב חוסר במקום אחסון ועלויות גבוהות שלו בעבר. נוסף על כך, מידע שנאסף לאורך השנים

לא תמיד יתאים לעיבוד במסגרת בינה מלאכותית, ויש צורך "לנקות" אותו ולארגנו מחדש כדי להתאימו לשימוש זה.

סודיות ומידור מהווים אתגר נוסף לגופי ביטחון: ניתוקם מרשתות חיצוניות ומטכנולוגיית ענן לא מאפשר שימוש במרכזי דאטה של גורמים אחרים, בין אזרחיים ובין ביטחוניים אחרים, לפעמים אפילו באותו ארגון עצמו. על כן הגופים נאלצים לפעול במסגרת יכולות ספציפיות המבוססות על יכולות החומרה ומאגרי הנתונים הפנימיים שלהם. במערכת הביטחון יש חוסר בשיתוף לא רק של דאטה אלא גם של אלגוריתמים או תוצאות שהושגו על ידם עבור גורמים שונים, משום חשש מחשיפה של דאטה באמצעות הנדסה הפוכה (Reverse engineering).

יתר על כן, בעולם המודיעיני והמבצעי לעיתים יש מיעוט דאטה, שאינו מאפשר לאמן אלגוריתמים חיוניים לפתור בעיות. אם יש למשל תמונה אחת או תמונות אחדות בעלות חשיבות אסטרטגית, אין די בכך לאימון האלגוריתם כראוי לפעולה באותו נושא או תופעה.

מעבר לכך, עיקר המידע נאסף בעיתות שגרה ואינו מתאר את הסטטיסטיקה המשתנה בעיתות חירום או בקרב. אין גם מאגרי מידע המייצגים מציאות מבצעית עתידית, ולכן אימון המערכות נעשה על סמך תרחישי שגרה או חירום ידועים מהעבר. אתגר זה משול "התכוננות למלחמה הקודמת", בעוד הזירה המבצעית אינה צפויה ומרבה להשתנות.

אתגר נוסף בתחום המידע הוא קושי של ארגונים ביטחוניים להסתמך על מוצרי מדף, שכן יש להם בעיות ייחודיות לגופי ביטחון ומודיעין, שדורשות איסוף וניתוח ייעודי של נתונים שלא קיימים באזרחות.

"הקופסה השחורה" – הסברתיות

אחד המאפיינים הבולטים של מערכות הבינה המלאכותית הוא היותן "קופסאות שחורות" שאינן מסוגלות להסביר את התהליכים שהביאו אותן לקבל החלטה מסוימת.²⁵⁵ בתחום הביטחון הלאומי יש משמעות חשובה לשקיפות במערכות מסוג זה, שכן לרוב קיים יותר מפתרון אחד לבעיה וחיוני לבחון את השיקולים שבדרך.²⁵⁶ לכן קיים חשש מפני הסתמכות מוחלטת על מערכות בינה מלאכותית בקבלת החלטות, מבלי שהובנה הדרך אליהן. שאלה מרכזית בהקשר זה היא אם המכונה והאדם חולקים את אותה הבנה לגבי המטרה והמגבלות בביצועה.²⁵⁷

כהמשך ישיר לכך, קיים חשש מחוסר אמון במערכות. בעיות האמון מקשות על הטמעה של מערכות בינה מלאכותית גם בתחומים שבהם להשלכות עשויה להיות עלות גבוהה.²⁵⁸ גם אם ניתן יהיה להסביר אלגוריתם, לא יהיה זה פתרון מושלם, מה גם שהסברתיות מחקרית אינה דומה בהכרח להסברתיות מבצעית. סף השקיפות

הדרוש לכל משתמש ותחום הוא שונה, ואין הכרח ששקיפות מלאה אכן תתרום באותה מידה לכל התחומים.²⁵⁹ כמו כן, לא בכל יישום אפשר להשתמש בפתרונות הסברתיות, משום שביישומים שנדרשים לפעול בקבועי זמן קצרים מאוד, לעיתים מעל לקצה גבול היכולת האנושית, לא ניתן להציב אדם בחוג ההפעלה של המערכת, אשר ינתח את הנתונים ההסברתיים.

חשוב לזכור כי המטרה ביצירת הסברתיות היא שיפור הביצועים, תוך הכרה בכך שאינם מושלמים. ברם גם כיום, כאשר ההחלטות הן של בני אדם, מתרחשות טעויות שהשלכותיהן עשויות להיות כבדות משקל. אם המכונה תטעה פחות מבחינה סטטיסטית ותשפר את הביצועים, ייתכן כי חרף אתגר ההסברתיות מוטב להסתמך עליה, מלבד מאשר בתחומים שבהם תתקבל החלטה עקרונית להימנע מכך, למשל מסיבות מוסריות או משפטיות.

אתגרים ארגוניים

תקציבים ייעודיים

לשם פיתוח והטמעה של מערכות בינה מלאכותית דרושה השקעה כלכלית רבה בכוח מחשוב ובמערכות תומכות, וכן לצורכי אבטחה של דאטה, תשתיות ואנשים.²⁶⁰ בימינו, לחברות המסחריות הגדולות תקציבים גדולים אף מעל לתקציביהן של מדינות מסוימות, וגופים צבאיים ומדיניים מתקשים להתחרות בכך ולהשיג את התקציב הנדרש לפיתוח ולהטמעה. זו אחת הסיבות לכך שהעיסוק בבינה מלאכותית בגופי הביטחון כיום הוא מועט ביחס לעיסוק בנושאים טכנולוגיים אחרים כגון סייבר, והתקציב אינו מספק. לעיתים הסיבה לכך היא שמוערך כי ניתן יהיה להסתמך על פיתוחים אזרחיים עתידיים. כמו כן, בארגונים ביטחוניים ומדיניים רלוונטיים התחום אינו מתוקצב כראוי או אינו מתוקצב כלל, בשל ראשוניותו והקושי של המערכת להשתנות ולהתאים את עצמה.

משאבי אנוש

קיים קושי לגייס ולשמר כוח אדם מיומן שיוכל לפתח, להתאים ולהטמיע את המערכות בגופי הצבא והמדינה, עקב התחרות הקשה מול התנאים שמציע המגזר הפרטי.²⁶¹ כמו כן, בשל סגירות של ארגוני ביטחון – סודיות ומידור – לא מתקיים מעבר של כוח אדם טכנולוגי בין ארגוני הביטחון השונים באופן שוטף, ולכן קשה לעיתים ליצור מסלולי קריירה שישמרו כוח אדם איכותי בתחום זה בשירות המדינה. לאור העובדה שמדובר בתחום צר יחסית, לאור היותה של ישראל מדינה קטנה עם משאבי אנוש מוגבלים ונוכח הקושי להתחרות על כוח האדם מול התנאים שמציעות חברות אזרחיות, מדובר באתגר כבד משקל בעל חשיבות מכרעת.

אתגר הקוטן

האקוסיסטם הישראלי מושפע לעיתים קרובות לטובה מכך שישראל היא מדינה קטנה יחסית, בין היתר בגלל הקרבה הפיזית בין מוקדי קבלת החלטות לבין מוקדי הפיתוח, והקשר הישיר או הקרבה היחסית בין מקבלי החלטות לבין מפתחים או חברות. המודל הייחודי של גיוס החובה לצבא ושירות המילואים ומעבר כוח אדם לתעשיות האזרחיות משפיעים לטובה על תחומים טכנולוגיים. עם זאת, בישראל יש להתמודד עם קשיי השקעה ותקצוב עקב התוצר המקומי הגולמי (תמ"ג) הקטן ביחס למדינות מתחרות. משום כך מתבקשים פיזור מאמצים וחלוקה של אלה הכשירים בתחומים טכנולוגיים למגוון הצרכים המשקיים והביטחוניים. יתר על כן, כניסתן של חברות ענק לישראל, אשר פותחות בה מרכזי פיתוח בתחום הבינה המלאכותית, הגם שהיא בעלת חשיבות רבה למשק, מייצרת אתגרים בנושא משאבי אנוש משום שהוא מהווה כיום את אחד מצווארי הבקבוק בתחום, כפי שתואר בהרחבה בסעיף שעסק בנושא זה.

יחסם של בכירים לנושא

בקרב מקבלי ההחלטות חסרה היכרות עם יכולות הבינה המלאכותית או הבנת משמעות שילובה בתחומים ביטחוניים. קיים גם קושי, בין היתר בקרב מפקדים ובכירים, לפעול על פי ניתוחים שמקורם במערכת בינה מלאכותית. מדובר בעיקר בגורמים ותיקים השייכים לשדרת מקבלי החלטות ואשר נדרשים לאשר תוכניות ורכש, או לחלופין לקבל החלטות חשובות בתחומים אחרים. גם גורמי שטח בדרגות נמוכות יחסית, שלרוב אינם בעלי רקע סטטיסטי ומתמטי, מתקשים לסמוך על מערכות בינה מלאכותית ולהתבסס עליהן בניהול מבצעים או פעילויות אחרות, למרות שרובם בעלי זיקה טכנולוגיות רבה יחסית מזו של דור הבכירים.

פוליטיקה והתנגדות לשינויים ארגוניים

שינוי טכנולוגי מביא עימו לעיתים שינויים באופי ובהגדרת תפקידים, מה שאינו מעודד אהדה לבינה מלאכותית בקרב חברי ארגוני הביטחון, שמטבעם הם גדולים ובירוקרטיים. כמו כן, לעיתים הטמעת הבינה המלאכותית איננה מביאה תועלת מיידית, ועל כן ניכרת התנגדות להטמעתה ולשימוש בה.²⁶² חלק מההתנגדות נובע מסיבות פוליטיות – שינוי עתידי בתקנים או במשרות. התנגדויות מסוג זה מזכירות התנגדויות היסטוריות שעלו בעקבות מיכון או מחשוב.

הקשר עם התעשייה האזרחית

האופי הארגוני של מערכת הביטחון על גורמיה השונים מאתגר את הקשר עם התעשייה האזרחית, שכאמור הוא חיוני לפיתוח הבינה המלאכותית. למשל, בעבודה מול הצבא

תהליכי הרכישה וההתקשרות מורכבים וממושכים, בעוד קצב העבודה בשוק האזרחי מהיר מאוד.²⁶³ המערכת הביטחונית הבירוקרטית אינה מורגלת בעבודה מול חברות מסחריות אזרחיות, במיוחד חברות הזנק. לאלו יש טכנולוגיה מבטיחה אך הן חסרות תשתיות מנהלתיות שיאפשרו להן לעבוד עם המערכת הבירוקרטית הביטחונית. זאת ועוד, חברות הזנק רבות אינן מבשילות לכדי חברות בעלות קיום מתמשך, וגופי ביטחון מתקשים להתקשר איתן עקב חוסר ביטחון בהמשכיות לאורך זמן.

חוסר אמון ופערים בין התחום האזרחי לביטחוני

יש חברות החוששות משיתוף פעולה עם גורמי ביטחון מטעמים אתיים או מתוך חשש להתנגדות של עובדיהן לנושא (הבעיה בישראל פחותה מאשר בארצות הברית, למשל). כמו כן, חברות המפתחות מוצר חדשני נוטות לחשוש מהתקשרות עם גופי ביטחון עקב דילמות של קניין רוחני.²⁶⁴ חשש נוסף נובע מהגדרתו של המוצר כביטחוני והחלת רגולציה בתחום היצוא הביטחוני, שתקשה על מכירות בחו"ל. במערכת הביטחון קיים חשש הפוך: עבודה עם חברות מסחריות עשויה להביא לזליגת ידע, אלגוריתמים ומידע, כתוצאה מחשיפה או מסחור של מוצר שנוצר בעבודה משותפת.

אתגרים בשימוש

בטיחות ואמינות

מערכות בינה מלאכותית וחלק ניכר מן הטכנולוגיות שהן מתבססות עליהן הן חדשות וחדשניות, ובחלק מן המקרים קיים קושי רב להסביר את אופן פעולתן. מכאן הקושי להתאים למערכות סטנדרטים של בטיחות ווידוא אמינות לפני כניסתן לשימוש. במקביל עשוי להתעורר קושי לתרגל או להטמיע את השימוש במערכות כך שיתאפשר מימוש יתרונות של מהירות וראשוניות, שלא על חשבון בטיחות והוכחת אמינות. הקושי אף יגדל במערכות שפעולתן משתנה ומתפתחת, ומצריכה בדיקות חוזרות. הצורך לאזן בין אופיין של מערכות מסוג זה והצורך לפעול במהירות אל מול סטנדרטים המקובלים כיום בתחום הביטחוני עשוי לאתגר את המערכת, מרמת מקבלי ההחלטות ועד רמת המפקדים בשטח.

קושי בהסתגלות

מערכות בינה מלאכותית מתקשות כיום להסתגל לסביבות חדשות (Domain Adaptability),²⁶⁵ מאפיין שהוא חיוני לזירה הביטחונית הדינמית, בייחוד בשדה הקרב. אתגר זה בא לידי ביטוי גם בצורך לאמן את המערכות לסביבה המתאימה (כאשר לעיתים חסרים נתונים בתחום). הדבר מושפע גם מיכולת מוגבלת של המשתמשים עצמם להפיק מהן את התוצאות הרצויות.

התאמת הקצב

יכולתן של מערכות בינה מלאכותית לפעול ולהגיב במהירות רבה יכולה להוות יתרון, אך קיים חשש ששינוי הקצב בשדה הקרב יגרום חוסר יציבות, בייחוד אם הקצב יעלה על זה של יכולת המפעיל להבין אירועים ולשלוט בהם, ברמה האופרטיבית.²⁶⁶ בעיה נוספת עלולה להתרחש במקרה שקצב פעולת המערכות יעלה על הקצב של מערכת הביטחון לקלוט אירועים, לנתחם ולבחור את הדרכים הנכונות להגיב עליהם, מבחינה אסטרטגית (אתגר זה עשוי להשפיע גם על היבטים בינלאומיים דוגמת 'מלחמת יתר').

תוצאות בלתי צפויות

מערכות בינה מלאכותית מייצרות לעיתים תוצאות לא צפויות ולא קונוונציונליות, כפי שהוזכר באתגר ההסברתיות. אפשרות זו עשויה להוות יתרון בשדה הקרב, בעיקר בתחומים של ניתוח מודיעין או של היכולת להפתיע את הצד האחר. ברם, היא גם עלולה להביא לסיכון ולביצוע שגיאות חמורות הנובעות מהנחות של המערכת, שהן שונות מאלו של אדם בעל שיקול דעת.²⁶⁷ נוסף על כך, קיים חשש מחוב טכני (Technical Debt) – פער בין קצב ההתפתחות הטכנית לבין הבנה מספקת של אופן הפעולה, הסיכונים ודרכי הבקרה שדרושות להתמודדות עם התפתחות טכנית זו.²⁶⁸ בהקשר של בינה מלאכותית וביטחון לאומי, מדובר בשימוש מהיר מדי של צבאות במערכות מבוססות בינה מלאכותית בלי להבין בצורה מקיפה. גם אם הסיכון הכרוך בשימוש במערכת מבוססת בינה מלאכותית אינדיווידואלית נראה מזער, לאינטראקציה שלה עם מערכת יריבה שאומנה על בסיס דאטה שונה עשויות להיות השלכות חמורות, במיוחד אם יחל מרוץ חימוש בתחום.²⁶⁹ זאת ועוד, אתגר ההסברתיות מקשה על תכנון מראש של דרכי הפעולה האפשריות להתמודדות עם אירועים ביטחוניים שונים, ועל הכנת "מקרים ותגובות" בהתאם.

אדם מחוץ להפעלה או בתוכו

אתגר נוסף הוא מחיר השארת אדם בחוג ההפעלה, אל מול הבעיות המוסריות והמשפטיות של הוצאתו. חשיבות שמירת האדם בחוג ההפעלה ופיקוח או מעורבות בהחלטות של המערכת, מסיבות מוסריות, בטיחותיות ומשפטיות, היא נושא הקשור לדיון במערכות אוטונומיות חמושות (ואחרות). עם זאת, שמירתו של האדם כגורם חשוב בקבלת ההחלטות של המערכת עשויה להאט את פעולתה. אתגר משמעותי ייווצר אם מדינות מסוימות יחליטו לשמור אדם בחוג ההפעלה, בעוד אחרות או גורמים לא-מדינתיים ישתמשו בהן ללא אדם בחוג.²⁷⁰

הטיות

נהוג לומר ש"מערכת בינה מלאכותית היא טובה כמו הנתונים שהיא מקבלת". כאשר הנתונים ששימשו לאימון המכונה אינם מגוונים מספיק, עשויה להיווצר הטיות.²⁷¹ אולם נטען שגם כאשר "הדאטה מושלמת" היא למעשה משקפת את ההטיות החברתיות, למשל בהקשר של מגדר והבדלים אתניים.²⁷² אשר לפן המבצעי, מידע מוטא (בשווג או בזדון) עשוי להשפיע על פעולת מערכות ובתוכן מערכות מודיעיניות, מערכות תומכות קבלת החלטות וכמובן מערכות נשק אוטונומיות. לכן נדרשת תשומת לב מיוחדת למערכות שעשויות להשפיע על החלטות הרוח גורל, ולא רק עליהן. כמו כן, בהקשר הביטחוני יש להבחין בין הטיות הנובעות ממחסור בנתונים מגוונים, שאותה ניתן ואף רצוי לפתור, לבין הטיות שיבוצעו באופן זדוני, תוך ניצול נקודות תורפה במערכת על ידי האויב ליצירת הונאה מכוונת.²⁷³

מוסר

העיסוק בפן המוסרי של השימוש בבינה מלאכותית מעלה שאלות לגבי תהליך קבלת ההחלטות של המערכות והשיקולים הערכיים המובאים בחשבון. כאמור, ההחלטות של המערכות עשויות לבטא הטיות ואפליה של קבוצות בחברה. ברם, עיקר הבעיות מתגלעות כאשר מדובר בסוגיות בעלות פוטנציאל להשפיע על חיי אדם. על כן יש צורך במעורבות אנושית מסוימת, בעיקר בעת שימוש במערכות המפעילות כוח קטלני.

מידע כוזב – האתגר המבצעי

באמצעות בינה מלאכותית ניתן לייצר מידע כוזב (Fake News), שיראה אמין ויקשה על הנחשף אליו לזהות את הזיוף. אתגר זה, שיש לו משמעויות מבצעיות, ייסקר בהמשך בהרחבה גם בהקשרים המדיניים. בהקשר המבצעי מידע כוזב עשוי להטות מודיעין או ליצור חסמים בהפעלת הכוח, והערכה שהוא קיים עלולה לעורר חוסר אמון של גורמים במטה ובשטח במידע שיקבלו. מבצעי הונאה כאלו של הצד האחר עלולים ליצור קושי גם עבור מערכת הביטחון להנחות אזרחים בנוגע לפעולות נחוצות בשעת חירום, או להעביר מידע אמין ומהימן בשעת חירום לאזרחים ולכוחות. מערכת הביטחון עלולה גם להיתקל בקושי למנוע העברת מידע כוזב, שעלול להוביל לפגיעה בחיילים ובאזרחים.

אתגרים ביטחוניים ומדיניים

מוסר בלחימה

קשה ואולי אף בלתי אפשרי לחזות ולתכנת מראש כל החלטה שבינה מלאכותית או כלי אוטונומי יידרשו לה בכל אחד מתחומי החיים. האתגר הזה אינו תכנותי

בלבד אלא במיוחד מוסרי, ובפרט ביחס למצבים וסוגיות שאין לגביהם קונצנזוס. גם במקרים של קונצנזוס, החלטות של בינה מלאכותית יהיו תלויות תרבות. למרות שהאתגר המרכזי בהקשר זה הוא שימוש במערכות נשק אוטונומיות המסוגלות ליטול חיי אדם, גם בתחומים אזרחיים תהיה לשימוש במערכות אוטונומיות השפעה בעלת השלכות מוסריות, שיש להביאה בחשבון.

כיום ניטש ויכוח בין שתי קבוצות מרכזיות בכל הקשור לבינה מלאכותית, לאוטונומיות ולמוסריות. קבוצה אחת סבורה כי ניתן במידה רבה לתכנת מערכות מבוססות בינה מלאכותית דוגמת מערכות רובוטיות לפעול בצורה טובה יותר מאשר בני אדם במספר רב של תחומים, משום שכלים אלו מסוגלים לקבל החלטות בצורה מהירה ומדויקת שאינה מוטה על ידי עייפות, פחד או תכונות פיזיולוגיות ורגשיות אחרות של בני אדם. יש אף מי שסבור כי ניתן באמצעים שונים לחשב תאוריות אתיות על בסיס שיקולים של הנאה וסבל.²⁷⁴ בכך למעשה יוכלו מערכות אלו להפעיל, בדרכן שלהן, שיקולים מוסריים בבואן להחליט בנוגע לביצוע פעולה.

הקבוצה השנייה שוללת את יכולתן של מכונות לקבל החלטות בתחום המוסר וסבורה שגם בעתיד, מערכות אלו לא יוכלו לקבל החלטות מוסריות. נטען שבהיעדר רגשות אנושיים ויכולת להעריך ולהבין רגשות לא תתאפשר קבלת החלטה מוסרית הולמת, לעומת זו המתקבלת על ידי בני אנוש, המקדישים התייחסות מוסרית לפעולותיהם. נטען גם כי תכנות, מקיף ככל שיהיה, לא יוכל להקיף את כל הממדים של השיקול האתי, שכן גם אם יכלול חישוב של הנאה וסבל, יתקשה לכלול שיקולים של צדק או הקרבת הפרט למען הכלל.

בכל מקרה, לא ניתן להתעלם מכך שבינה מלאכותית ומערכות אוטונומיות המבוססות עליה מפותחות כיום במהירות וממלאות מגוון משימות במגוון תחומי חיים. מערכות אלו מחייבות את בני האדם, לראשונה בהיסטוריה האנושית, לחשב בצורה מתמטית ולקבל החלטות חד-ערכיות בנוגע לתחומים שהיו מבוססים על קבלת החלטות אישיות של בני אדם שונים במקומות שונים בעולם, על בסיס חינוך, ערכים ותרבות. על כן, האנושות עשויה להידרש לגיבוש מערכת ערכים אחידה על בסיס חשיבה משותפת של פילוסופים בני תרבויות שונות ומשפטנים ממדינות שונות, על מנת לאפשר את המשך ההתפתחות והקדמה בעולמנו. הכורח הזה הוא הזדמנות לשיתוף פעולה בינלאומי, אך מנגד, על בסיס המתרחש כיום בתחום האוטונומיות החמושה והקושי הבינלאומי לקבל החלטות בתחום, נראה שהזדמנות זו תישאר בגדר אתגר. אתגר זה יעמוד גם בפני ישראל בבואה להרחיב את השימוש בבינה מלאכותית לתחומים שונים, ובעיקר לביטחון הלאומי.

חוק ומשפט

אתגר מרכזי לעולם המשפט הוא האחריות לתוצאות השימוש בבינה מלאכותית אוטונומית, או היכולת לתת דין וחשבון משפטי (Accountability). בעוד שבאופן מסורתי, בעליה של מכונה או מפעילה הוא האחראי לתוצאות השימוש בה, קשה לבסס אחריות כאשר פעולות הן תוצאה של למידה עצמונית ופעולה אוטונומית, בייחוד במקרה של גרימת נזק בלתי מכוון לרכוש, אפליה פסולה או פגיעה בנפש.²⁷⁵ נזק הנגרם עקב תקלה במערכת אוטונומית יכול להתרחש למשל בכביש, בסביבת עבודה או כתוצאה מאבחון שגוי בתחום הרפואה. במקרים אלה לא יהיה ברור על מי נופלת האחריות: על היצרן, על המתכנת או אולי על מי שרכש או הפעיל את המכונה. הבעיה מתעצמת בשדה הקרב, שם שגיאה של מערכות נשק אוטונומיות, למשל, עלולה לגרום הרס רב ופגיעה באזרחים – גם בלי שאדם התכוון לכך או יכול לשאת באחריות לכך.²⁷⁶ הקושי בביסוס החבות המשפטית עלול להקשות על החברה האנושית לפעול מבחינה משפטית נגד מדינות החורגות מגבולות החוק הבינלאומי, שכן אלו יוכלו להפעיל מערכות אוטונומיות ולגרום נזק רב מבלי להתמודד עם ההשלכות של מעשיהן. מצב זה עלול לעודד פעולות חסרות אחריות, ולערער את יציבות המערכת הבינלאומית ואת הביטחון הלאומי.

תלות

ככל שנשים מבטחנו בבינה מלאכותית, התלות עלולה לסכן את הביטחון הלאומי כתוצאה מתקלות בחומרה (למשל, הפסקות חשמל או קושי בקירור חוות שרתים חיוניות), כשלי תוכנה או מתקפות מכוונות. אם כמות גדולה של כלים ביטחוניים תהיה תלויה בפעולתה של בינה מלאכותית, פגיעה בה עלולה להשבית את המערכת כולה. על כן חיוני להבטיח שלצד יכולות מתקדמות המחוברות למערכות בינה מלאכותית יתוחזקו גם יכולות מנותקות ממנה – מערכות נשק, כלי רכב ואמצעי תקשורת. כלומר: יש להקפיד על יתירות באמצעות מגוון טכנולוגיות. צורך זה עשוי ליצור אתגר תקציבי ממשלי, וכן לייצר אסימטריה ביחס ליריבים שיחליטו להסתמך על בינה מלאכותית בתחומים שבהם ישראל תבחר להימנע מכך, ומסיבה זו.

בינה מלאכותית בדי "הצד השני"

סוגיה זו מתקשרת באופן כללי לאתגר של בינה מלאכותית בדי "הצד האדום", דהיינו מדינות או ארגונים יריבים. התפשטות הבינה המלאכותית עשויה לאפשר למדינות קטנות ולשחקנים לא־מדינתיים להשפיע באופן לא פרופורציונלי על שדה הקרב, אם יצליחו לנצל את הטכנולוגיה בקנה מידה רחב.²⁷⁷ אתגר זה נוגע במיוחד למדינות וארגונים שהתנהלותם שונה מאלו של מדינות דמוקרטיות ליברליות. למשל, איראן

משקיעה רבות בבינה מלאכותית ומסוגלת לבצע מהלכים מהירים בתחום הטכנולוגי, בגלל היותה מדינה אוטוריטרית השולטת הן בתעשייה, הן באקדמיה והן בצבא באופן מוחלט. בין היתר איראן משקיעה רבות בתחום מבחינה אקדמית, ובשנת 2018 הייתה המדינה הראשונה במזרח התיכון (והתשיעית בעולם) בדירוג מספר הפרסומים בתחום, זאת מתוך 152 מדינות שדורגו. במדרג זה נמצאת ישראל במקום ה-46 בלבד.²⁷⁸ בסוף שנת 2019 קרא נשיא איראן חסן רוחאני לשיתוף פעולה עם מדינות מוסלמיות אחרות, במטרה לשפר את טכנולוגיית הבינה המלאכותית. בציטוט מדברי רוחאני נאמר ש"כלכלה דיגיטלית היא העתיד של הכלכלה העולמית, וצמיחה בתחום תושג על ידי שיתוף פעולה".²⁷⁹ ישראל אמורה להיות מוטרדת מהאפשרות שקריאתו זו תיענה בחיוב על ידי מדינות מוסלמיות נוספות, שחלקן אינן אוהדות את ישראל. בהקשר זה יש לזכור כי לרוב ישראל מתמודדת עם מדינות שאינן דמוקרטיות – ליברליות באופיין, והדבר עשוי להוביל לכך שהן יחליטו להשתמש במערכות בינה מלאכותית באופן שונה מאוד – למשל מבחינה מוסרית ובכל מה שקשור לדין הבינלאומי – מהאופן שבו ישראל תעשה בהן שימוש (בהגבלה עצמית).

מרוץ החימוש

מרוץ החימוש בפיתוח בינה מלאכותית בולט בין ארצות הברית לסין, הנאבקות על הבכורה. במזרח התיכון בולטות ישראל ואיראן. המרוץ עשוי לערער את הסדר העולמי ולשנות את מאזן הכוחות הקיים אם סין תשיג את ארצות הברית, וכן להשפיע על יחסים בין מדינות. אפשר שישאל תיאלץ לבחור עם איזה צד לשתף פעולה – החלטה שיהיו לה השלכות ביטחוניות וכלכליות.

בקרת נשק

התפתחויות טכנולוגיות דוגמת מערכות נשק אוטונומיות, המבוססות על בינה מלאכותית, מעוררות דיונים בערכאות בינלאומית לגבי האופן שבו הן עלולות לערער את היציבות בעולם ולפגוע בזכויות אדם. סוגיה זו חורגת מעיסוק אתי גרידא. מדינות בעלות יתרון יחסי בתחום – ארצות הברית וישראל, למשל – אינן מעוניינות להגביל את עצמן, משיקולים ביטחוניים וכלכליים כאחד. יתר על כן, בעבר תחום בקרת הנשק התמקד בעיקר בבקרת מערכות ותפוצתן, וכיום הדגש מושם יותר ויותר על בקרת רכיבים. יש הסבורים ששינוי זה יהיה משמעותי בהגבלת מדינות למכור או לרכוש יכולות טכנולוגיות מסוימות, כולל התוכנות שבבסיס יישומי בינה מלאכותית. הדבר עשוי להוביל לצמצום האינטרס לפתח טכנולוגיות כאלו בשל צמצום התמריץ המסחרי, או להאיץ מדינות מסוימות לפתח אותן לצורכיהן "כנגד כל הסיכויים".

לוחמת סייבר

מערכות בינה מלאכותית מרחיבות את הפרצה שיכולה להיות מנוצלת על ידי יריבים. ראשית, הן מגדילות את כמות ה"דברים שניתן לפרוץ אליהם" ("hackable things"), בהם גם מערכות שפריצה אליהן תביא לתוצאה קטלנית. חשש זה גובר אם כל המערכות בארגון חולקות את אותה נקודת תורפה.²⁸⁰ שנית, "גניבת" מערכות בינה מלאכותית עשויה להיות קלה יחסית, מכיוון שהן מבוססות כמעט בלעדית על תוכנה שניתן להשתמש בה מייד לאחר הגניבה (בשונה למשל מגניבת תוכנית של מטוס). יתר על כן, למערכות אלה שימוש כפול: את חלקן ניתן להשיג באופן מסחרי ולהתאימן לשימושים ביטחוניים.²⁸¹ שלישית, מערכות בינה מלאכותית יוכלו לשמש לגילוי נקודות תורפה ווקטורים חדשים לתקיפה.²⁸² יריבים יוכלו להכניס טעויות מכוונות לקטגוריזציה של המערכת כך שיכולת הזיהוי שלה, החיונית לקבלת ההחלטות, תיפגם.²⁸³ כמו כן קיים חשש שמערכות בינה מלאכותית יסירו את מחסומי הכניסה של שחקנים יחידים ושל ארגונים לא-מדינתיים למרחב הסייבר. גם אם אינם מסוגלים לפתח תוכנות מורכבות משלהם למתקפת סייבר, הם יוכלו להתאים קוד שפותח על ידי אחרים.²⁸⁴

נשק גרעיני

שימוש במערכות מבוססות בינה מלאכותית בתחומים של קבלת החלטות או בתחומי מודיעין או פיקוד ושליטה עשוי להיות בעל השפעה על הפעלה של חימושים ובתוכם גם נשק גרעיני, בין שהנשק יחובר למערכות אלו ישירות ובין כתוצאה עקיפה של קבלת החלטות. מעבר לכך, קיים חשש שמערכות בינה מלאכותית יגבירו את הסיכוי לשימוש בנשק גרעיני גם אם לא יהיו מחוברות ישירות למשגרי נשק גרעיני. זאת בשל שינוי במאזן הכוחות, שעד כה הבטיח יציבות (יחסית) על בסיס הרתעה הדדית.

מלחמת יתר

ייתכן שאופיין של מערכות בינה מלאכותית וקצב קבלת ההחלטות המהיר שהן מאפשרות, לצד התגובתיות של מערכות נשק, יגרמו מלחמת יתר (HyperWar). כלומר, קצב האירועים יהיה כה מהיר, שהמפעיל או האסטרטג לא יצליח להבין את האירועים ולשלוט בהם, וכך קבלת ההחלטות האנושית כמעט לא תשפיע על התהליך. תגובות מיידיות בעימות הן בעלות פוטנציאל הרסני, למרות שבחלק מן המקרים ובמערכות מסוימות הן עשויות לסייע לייצר הרתעה.

מידע כוזב

בינה מלאכותית מספקת מנגנונים ליצירת תעמולה מותאמת במדויק לקהלים מסוימים ולהרחבת הפצתה. הדבר הופך בעייתי כאשר מדובר במידע כוזב, ואז תוכן שקרי

מופץ בצורה ממוקדת מאוד כך שהשפעתו עשויה להיות נרחבת. כמו כן, במקרה של דמוקרטיה שבהן התקשורת והאינטרנט פתוחים, הדבר עשוי להוות כלי שרת בידי גורמים זרים, שעלולים לנסות להשפיע על תהליכים דמוקרטיים תוך שימוש בכלי הפצה יעילים מאוד.

מצד שני, מערכות בינה מלאכותית יכולות לשמש גם אמצעים לזיהוי ולסינון של תוכן שקרי. הבעיה היא שלרוב היכולת ליצור ולהפיץ מידע כוזב באמצעותה עולה על יכולתם של הכלים לזיהוי מידע כזה,²⁸⁵ מאחר שדרושות דוגמאות רבות לאימון האלגוריתם לזיהוי המידע הכוזב.

דוגמה לשימוש מסוג זה היא בוטים – ישויות שמקדמות באופן מלאכותי תוכן שיכול לבצע מניפולציה על האופן שבו סדר היום מעוצב, שכן הם מכתיבים חשיפה נרחבת – מה שעשוי להתפס כמצביע על אמינות. השימוש בבוטים היה נפוץ מאוד במערכת הבחירות לנשיאות ארצות הברית ב-2016, אז למעלה ממחצית מהתעבורה ברשת הייתה שייכת לבוטים, שהפיצו מידע כוזב על מועמדים.²⁸⁶

דוגמה נוספת היא "Deep Fakes". מדובר בסרטונים מזויפים שמנצלים מערכי נתונים קיימים של וידאו וקול כדי לייצר תוכן מזויף שנראה אמין מאוד. למעשה, סרטונים מסוג זה מאתגרים את הבנת המושג 'אמת' ושוחקים אמון בתוכן ובאמינות של עובדות אמפיריות שנמדדות באמצעות החושים.²⁸⁷ ישראל, שהיא דמוקרטיה בעלת תקשורת פתוחה, ניצבת בהקשר זה בפני אתגר ביטחוני ומדיני כאחד.

שוק העבודה והתעסוקה

בעקבות מהפכות טכנולוגיות ניכרת נטייה לשינויים משמעותיים בעולם התעסוקה. חוקרים רבים סבורים כי האנושות נמצאת על סף מהפכה תעשייתית חדשה, עקב פיתוח בינה מלאכותית וטכנולוגיות האינטרנט של הדברים.²⁸⁸ מהפכה זו תהיה המהפכה התעשייתית הרביעית, לאחר שהראשונה החלה באמצע המאה ה-18, עם כניסתה של אוטומציה מעשה ידי אדם לתהליכים תעשייתיים; השנייה התחוללה במאה ה-19 עקב מעבר לתהליכי ייצור המוני והשלישית התחוללה במחצית השנייה של המאה ה-20, עם כניסתם של מחשבים לעולם התעשייתי. הפיתוחים של המהפכה הרביעית צפויים לייצר מקומות עבודה חדשים, כפי שקרה במהפכות הקודמות, להגביר את היעילות בתעשייה ובתחום השירותים, וכך להעלות את ההיצע ולהוריד את המחירים. הורדת המחירים תוביל מצידה לעלייה בצריכה הפרטית, מה שיוסיף להניע את צמיחת הכלכלה העולמית.²⁸⁹

מנגד, שינויים אלו צפויים להביא להיעלמותם של מקצועות רבים משוק העבודה. בעוד מהפכות קודמות הובילו בעיקר להיעלמותם של מקצועות רבים שדרשו עבודת כפיים, המהפכה הנוכחית עשויה להעלים או לייתר מקצועות בתחומי הידע והמידע,

שאותם יוכלו להחליף מערכות בינה מלאכותית. שוק העבודה יעשה גמיש יותר ויסתמך על כישורי העובדים ועל יכולתם להסתגל למציאות המשתנה, יותר מאשר על הידע המקצועי שלהם.²⁹⁰ מצב זה יוצר אתגר למדינות המפותחות, הנדרשות לשנות את גישתן להשכלה ותעסוקה ולייצר מערכות שיאפשרו למידה והתפתחות לאורך החיים. כן יהיה צורך להתאים את המערכות התומכות במדינה ואת חוקי ההעסקה למציאות המשתנה, על מנת לתמוך בשכבות שונות באוכלוסייה ובצורכיהן.

מבט לעתיד המעט רחוק יותר מעלה שאלות בנוגע לעתידו של עולם התעסוקה, כאשר צפוי כי גם מקצועות שונים, ביניהם כתיבת ספרים וביצוע ניתוחים כירורגיים, יבוצעו בצורה טובה יותר על ידי תוכנת בינה מלאכותית מאשר על ידי אדם, עד שנת 2053.²⁹¹ מצב מסוג זה יציב את מרבית האנושות בפני משבר תעסוקתי חמור, שאפשר כי יאלץ אותה לכוון סדר חברתי שאינו סובב את תעסוקה. לחלופין עשויים להיווצר מקצועות חדשים לחלוטין וצורות עבודה שאינן דורשות מאפיינים מסורתיים של שוק העבודה כיום, ובכלל זה נוכחות פיזית.

אוטונומיות בשוק העבודה מציבה אתגרים עקיפים לביטחון הלאומי. ראשית, הפיכת תעשיות לאוטונומיות גורמת להיותן מטרה למתקפות ולפריצות מצד מדינות מתחרות. מכיוון שכלכלת מדינות תישען יותר ויותר על מערכות ממוחשבות, יהיה עליהן להתמקד בפיתוח אמצעי הגנה שיבטיחו את אמינות התעשיות וביטחונן. שנית, אם המדינות לא יצליחו לייצר עבודה לרבים שיאבדו את משרותיהם, יהיה עליהן להבטיח רווחה באמצעים אחרים. במדינות מסוימות דוגמת פינלנד מתקיים דיון בנוגע לקצבת קיום בסיסית, שנדרשת כדי להבטיח את הביטחון האזרחי-כלכלי של האזרחים, שחלקם אינם מועסקים, בין היתר בגלל השפעות הקדמה והאוטומציה.²⁹² יהיה צורך בהרחבת דיון זה למדינות נוספות, ככל שהאוטונומיות תצמצם תחומי תעסוקה מסוימים. דיון חשוב נוסף בתחום זה מתייחס לגביית "מס הכנסה מרובוטים", המתחילים להחליף עובדים בתחומים שונים.²⁹³ שינויים כאלה יידרשו על מנת לייצב את החברה מבחינה כלכלית וחברתית.

אי-שוויון קיצוני בחלוקת המשאבים בחברה

הגלובליזציה וההתקדמות הטכנולוגית מרחיבים פערים הן במדינות והן ברמה הגלובלית.²⁹⁴ מכיוון שהחברה המודרנית מושתתת על חלוקת הרווחים על פי תרומה יחסית, הישחקותם של מקצועות רבים עלולה להותיר רבים בלי יכולת לתרום לכלכלה. בעוד הכלכלה תוסיף לצמוח, ייתכן כי פחות ופחות אנשים יזכו ליהנות מחלוקת רווחיה.²⁹⁵ גם הגישה לטכנולוגיה עצמה עלולה להתאפיין באי-שוויון. מדינה המחזיקה ראשונה בבינה מלאכותית מתקדמת תזכה ל"יתרון ראשוני" על פני מדינות אחרות במגוון תחומים, לרבות כלכלה וביטחון. כך גם יחידים שתהיה להם גישה לטכנולוגיות

בינה מלאכותית מתקדמות יזכו ליתרון. אי־שוויון יתרחב גם בכל הנוגע לגישה לטיפול בריאות, ביטחון אישי, איכות חיים ויכולת קידום עצמי.²⁹⁶ בהקשר זה צפוי שעסקים מעוטי משאבים יהיו בלתי תחרותיים, שכן הם לא יוכלו להתחרות ביכולות הבינה המלאכותית של בעלי העסקים הגדולים. כך ייווצרו מונופולים עסקיים. כבר כיום מדינות שוקלות להגביל את החברות הטכנולוגיות הגדולות,²⁹⁷ עקב הבנת הסיכונים הטמונים באותם מונופולים. מדובר בבעיה מורכבת, שמאפייניה השונים ימשיכו להתבהר וידרשו מענה ככל שתתקדם ההתפתחות הטכנולוגית.

סיכום והמלצות

”

הצורך בפיתוח מושגים אסטרטגיים הרלוונטיים
לטכנולוגיה החדשה והבלתי נמנעת הזו הפך למכריע.

“

(בהתייחס לבינה מלאכותית, אסטרטגיה רבתי וביטחון).

מתוך מאמר משותף של:

הנרי א' קיסינג'ר, מדינאי אמריקאי, דיפלומט ויועץ גיאופוליטי, שכיהן
כמזכיר מחלקת המדינה והיועץ לביטחון לאומי של ארצות הברית.

אריק שמידט, איש עסקים אמריקאי, לשעבר מנכ"ל גוגל.

דניאל הוטנלוצ'ר, דיקן מכללת שוורצמן למחשוב MIT.

בינה מלאכותית היא טכנולוגיה בעלת פוטנציאל מהפכני בכל תחומי החיים. היכולת להעביר לאחריות מכונה פעולות שבעבר בוצעו על ידי אדם, ברמות הגבוהות ביותר, וכן להתעלות עליהן גם בתחומי חיים שקשה היה לדמיין שיעברו מיכון, היא בעלת השפעות מרחיקות לכת. אומנם קשה עדיין להעריך באופן מלא את היקף המהפכה ומאפייניה, אולם לא ניתן להתעלם מהצורך להיערך אליה ולמשמעויות מרחיקות הלכת שהיא טומנת בחובה, בין למי שיצליח לאמץ אותה ולהוביל בתחום ובין למי שיפגר מאחור.

מדינת ישראל בשנת 2020 היא בעלת יתרון יחסי בתחום הבינה המלאכותית. יתרון זה נשען על היותה מדינת סטארט-אפ ועל השקעות עבר והווה בתחומי מדע וטכנולוגיה, תשתיות וחינוך, שאפשרו צמיחת אקוסיסטם המשלב תעשייה, אקדמיה וגורמים ביטחוניים המניעים את התחום קדימה תוך שיתוף פעולה, ידע ומשאבי אנוש ברמה גבוהה יותר מאשר מדינות רבות בעולם. לאור זאת, בינה מלאכותית עשויה להוות בשנים הבאות גורם מרכזי בשימורו ובחזוקו של הביטחון הלאומי של ישראל. את הפוטנציאל הקיים יש לנצל באמצעות מדיניות מתאימה ומכוונת לניהול סדור והשקעה מספקת בתחום. היעדרם של אלה עלול לדרדר את ישראל לנחיתות ביחס למדינות ידידות ואף עוינות. יתר על כן, התחום אינו חף מאתגרים שראוי להיערך להתמודדות עימם על מנת לצמצם סיכונים ולשמר ולפתח יתרונות. אין להמעיט גם בחשיבותן של סוגיות שאינן מבצעיות גרידא אלא בעלות אופי "רך" יותר, כגון שאלות מוסריות או משפטיות המצריכות חשיבה כדי שהשימוש בטכנולוגיה יהיה בעל השפעה חיובית ככל האפשר.

סיכומו של חיבור זה מצביע על מספר תחומים מרכזיים שבהם על ישראל לפעול: ארגון; תקצוב ומימון למחקר ולתשתיות לאומיות; בטיחות; מוסר; משפט; תקינה; שיתוף ידע; היבטים בינלאומיים, דיפלומטיים, מודיעיניים ושיתופי פעולה; משאבי אנוש, השכלה והכשרה. בין הנושאים הנוגעים נמצאות סוגיות של תשתיות לאומיות ומשאבי אנוש. ההמלצות מתבססות על מחקר רקע שנערך בנושא מדיניות בתחום הבינה המלאכותית, שהיווה את הבסיס לעבודת ועדת המומחים שייעצה למחקר זה, והן על עבודת הוועדה, דיוניה ומסקנותיה.

ההמלצות מחולקות למספר תחומים. חלק מההמלצות הנוגעות ליותר מתחום אחד אך מוזכרות פעם אחת בלבד, באחד מהתחומים הרלוונטיים להן. לגבי חלק מהסוגיות

נדרשים תקציבים גבוהים, ואחרות מצריכות בעיקר תשומת לב ארגונית והתאמות של המצב הקיים. חלקן אף ניתנות לביצוע בתקציבים נמוכים, בעוד פוטנציאל ההשפעה שלהן גבוה. המדיניות המומלצת מתייחסת בעיקר להיבטים הצרים יחסית וה"קשים" של הביטחון הלאומי, למרות שלבינה המלאכותית השפעות קיימות ופוטנציאליות גם בתחומים הרחבים יותר.

יודגש כי השתהות בגיבוש ובניהול מדיניות בתחום תגרום נזק לביטחון הלאומי של מדינת ישראל, בפרט בשל מרוץ החימוש האגרסיבי המתחולל במרבית המדינות המתקדמות בעולם, המתייחסות אל הבינה המלאכותית כאל מכפיל כוח. על רקע זה, ככל שתקדים ישראל לפעול בתחום באורח סדור, על פי קווי מדיניות ברורים מבוססי מחקר וידע, כך יגברו הסיכויים לשמר את הפער החיובי של ישראל, ואולי אף להרחיבו לטובתה.

ארגון

יש לנסח אסטרטגיה לאומית לבינה מלאכותית ולהקים גוף שינהל אותה ברמה הלאומית.

יש צורך בתוכנית רב־שנתית לבינה מלאכותית, כמו זו הקיימת בתחום הסייבר, על מנת לנתח את התחום באופן רוחבי ואורכי, להוביל מדיניות לאומית של הקצאת משאבים ולקבל החלטות בנוגע למחקר ופיתוח, משאבי אנוש ונושאים נוספים. יש צורך ליצור מודלים מבניים במערכת הביטחון בכלל ובצה"ל בפרט, שיאפשרו להדביק את קצב השינויים הגובר בתחום הטכנולוגי, ובין היתר יאפשרו תגובתיות וגמישות רבה מזו הקיימת כיום.

יש לבנות מכלולי עבודה משותפים של קהילת הביטחון, צה"ל, התעשייה והאקדמיה – תוך מיצוי היתרונות היחסיים של כל אחד מהם, והנגשת מידע – בתוך תשתיות הקהילות.

יש לפעול להסרת מכשולים לחדשנות ויזמות בממשל, כדי להקל שילוב והטמעה מהירים של טכנולוגיות מתפתחות בפעילות הממשלה בתחומים ביטחוניים.

מחקר ופיתוח

יש לבחון שילוב מידי של בינה מלאכותית בתחומים טכנולוגיים ביטחוניים שבהם לישראל יש כבר עכשיו יתרון יחסי (דוגמת תחום המל"טים), על מנת לייצר מכפיל כוח.

יש צורך להשקיע במחקרי עומק במערכת הביטחון הלאומי, ולא להסתמך רק על מחקרים אקדמיים שלעיתים קרובות נשארים ברמה תאורטית בלבד, ואינם מספקים או אינם מבוצעים בתחומים שנחוצים למערכת. יש צורך לתקן ולתקצב

את היקף המחקר ופיתוח הנדרש בכל תחום, כפי שקיים בתחומים טכנולוגיים אחרים.

יש לתעדף מימון מחקר ופיתוח של בינה מלאכותית בתחומים שיכולים לספק יתרון מתמשך ולהקל סיכונים מרכזיים, על פני "יישומי נישה".

יש לקדם פיתוחים ביטחוניים בהתבסס על טכנולוגיית בינה מלאכותית קיימת (תוך ניצול יכולת שימוש כפול), על מנת לנצל את ההתקדמות במגזר האזרחי ואף לעודד אותה.

יש לפתח אסטרטגיה לאומית בתחום הדאטה, שתשפר גישה לדאטה והבנייתה לשימוש גופי הביטחון השונים, וכן תבטיח הגנה עליה.

יש לפתח את התחום של עיבוד שפה בעברית, כולל יישומים כמו NLP, דיבור לטקסט, טקסט לדיבור ועוד. זאת משום שמערכת הביטחון, כמו אזרחי המדינה כולם, עובדת בעברית. השימוש בעברית יסייע לחיזוק התעשייה המקומית בהקשר של הבינה המלאכותית.

יש להגדיל השקעות במחקר ופיתוח בתחום אדם-מכונה עבור מערכת הביטחון, מתוך הבנה שחרף האוטונומיות הגבוהה של המערכות, עדיין יישארו בה בעתיד רכיבים של שליטה אנושית. בתוך כך מומלץ לתעדף מחקר ופיתוח של בינה מלאכותית בתחומים המסייעים לאדם במקום בתחומים מחליפי אדם, עד לביסוס אמיתות ובטיחות של הטכנולוגיה וכן טיפול בהיבטים מנהלתיים ומשפטיים.

על קהילות ההגנה והמודיעין להשקיע בפיתוח יכולות-נגד של בינה מלאכותית (counter-AI), להגנה והתקפה.

יש לפעול לפיתוח יישומי בינה מלאכותית לשיפור מיצוי חומרים מודיעיניים עכשוויים והיסטוריים.

תחום הבינה המלאכותית במערכת הביטחון הישראלית כיום מכוון סנסוריקה (מבוסס על מערכות של חיישנים – סנסורים), בשונה ממערכות המבוססות על מאגרי נתונים שלא נאספו על ידי חיישנים, אלא בדרכים אחרות. יש צורך לבחון התמודדות עם בעיות שבסיס הנתונים שלהם אינו סנסורי, בעיקר עבור צרכים מודיעיניים.

תקצוב, מימון ותשתיות לאומיות

יש ליצור פתרון לאומי לסוגיות תשתית (חומרה, ענן, חיבור לאינטרנט) ולהקצות תקציב מתמשך לכך, משום שלקהילת הביטחון, בשונה מהתעשייה האזרחית, יש צרכים שאינם מאפשרים לרוב שימוש בתשתיות מסחריות עקב סוגיות של סיווג, למשל, ואילוצים ביטחוניים אחרים.

יש צורך במודל תקצוב מוכוון מטרות שיגובש בסיוע קהילת הביטחון, אשר תוכל לעשות שימוש בתפוקות.

יש לקבל החלטות בנוגע לתחומים שבהם ישראל תשקיע ברמה הלאומית ולתחומים שאינם בסדרי הגודל והיכולות שלה, אשר לגביהם צריך לבחון אפשרויות של שיתופי פעולה עם גורמים אזרחיים, ישראלים ובינלאומיים (החלטות מסוג זה יהיו ככל הנראה במסגרת תפקידה של הרשות שיש דיונים בנוגע להקמתה).

יש להגדיר את תחומי המחקר שדורשים מימון בתקציב ממשלתי-ביטחוני לאור היותם ייחודיים לביטחון הלאומי, ועקב כך לא יקבלו מענה בדרך אחרת.

יש לשקול שילוב מנגנונים של עידוד השקעות בתחומי בינה מלאכותית שיש להם השפעה חיובית על הביטחון הלאומי.

יש להגדיל את ההוצאות הממשלתיות על בינה מלאכותית גם בתחומים אזרחיים שיניעו את המשק בתחום זה.

משאבי אנוש – השכלה והכשרה

בתוך ארגוני הביטחון השונים יש צורך לבחון ניהול משאבי אנוש ברמה הכללית-מערכתית, לרבות הגדרת תפקידים, תקנים והכשרות משותפים, מעבר עובדות ועובדים בין ארגונים וכן תמריצים ותקציבים לגיוס ולשימור כישרונות, כדי לא לאבד אותם לטובת התעשייה האזרחית.

על מערכת הביטחון (והתעשייה) לפעול להשתלבות בהכשרות הקיימות כיום בתחום, בעיקר אלו האקדמיות, במטרה להכשיר כוח אדם שאינו מיומן בפן התאורטי בלבד, וכן לקיים מסגרות הכשרה מיוחדות מטעמם או תחרויות ומסגרות נוספות, שיחברו בין כישרונות בתחום לבין צורכי מערכת הביטחון.

יש להכשיר במגזר הביטחוני כוח אדם לא טכנולוגי, כולל בדרגים הבכירים, להכרת התחום, מגבלותיו ויכולותיו, וכדי שיוכל להיות מעורב ופעיל יותר בקבלת החלטות בתחום.

יש להשקיע בלימודי מדעים, טכנולוגיה, מתמטיקה והנדסה, וכן בכישורי פתרון בעיות בסביבה מתקשבת, ולמקד את החינוך בהכנת תלמידים לעתיד שבו בינה מלאכותית תהא גורם משפיע הן מבחינה צבאית והן מבחינה אזרחית.

מוסר, חקיקה, תקינה ונוהלי בטיחות

יש להקים ולבסס ארגונים המיועדים ליצירת תקנים ופיקוח על בטיחות בשימוש בבינה מלאכותית.

יש לפעול לפיתוח נורמות ועקרונות לבטיחות ואחריות בשימוש בבינה מלאכותית במערכת הביטחון, בשאיפה שישפיעו גם על פעילותם של גורמים אזרחיים.

יש להגדיר עבור מערכות ביטחוניות מהו הקוד האתי בשימוש בבניה מלאכותית באופן כללי, ובמיוחד בהקשרי צוותים של אדם-מכונה.

מטעמים של משפט, מוסר, בטיחות ויתירות, יש להחליט באילו מערכות ישומו גם מנגנונים לפיקוח ולשליטה אנושיים.

יש צורך להגדיר סיווג ותקינה של מערכות בינה מלאכותית למטרות שילוביות, בטיחות ודיון משותף, על מנת לאפשר תהליכים פשוטים ומסודרים יותר מאלו הקיימים כיום, אל מול התעשיות וכן עבור תהליכי פיתוח ורכש, והטמעה באופן כללי.

יש לבחון תקנים ותהליכים בתחום היצוא של מערכות בינה מלאכותית, כולל היתרי יצוא ביטחוניים. נדרש לקבל החלטות שמצד אחד ישמרו את חוסנה של התעשייה ואת יכולת הפעולה שלה, ומצד שני יאפשרו הגבלה של יצוא העלול לפגוע בביטחונה של ישראל.

יש להגדיר תקינה בהקשר למחקר בתחום אדם-מכונה: איפה נכון שיהיה חלקו של האדם בצוות אדם-מכונה, ואיך מטמיעים מדיניות נבחרת בשיטות ההתקשרות והרכש של כל ארגון ביטחון ומשרד ממשלתי.

שיתוף ידע

שיתוף ידע במערכת הביטחון של ישראל הוא חיוני, לכן יש לקבוע מנגנונים בין ארגוני הביטחון השונים, כך שתימנע כפילות של עבודה ותתאפשר השלמת פערים בין הארגונים, וכן יצירת פתרונות מתואמים.

יש צורך ליצור תקן אחיד לתפקידים מסוימים, כמו "Head of data science" (ראש תחום מדעי הנתונים) בכל אחד מן הארגונים והמשרדים הרלוונטיים, ופורום קבוע שיאפשר שיתוף ידע בין הארגונים ברמת דרגי העבודה השונים.

יש ליצור מנגנוני שיתוף ידע בדרגים הנמוכים יותר של אנשי המקצוע בארגונים השונים ולהסתמך על מודלים אזוריים (ככל שניתן ביחס לביטחון מידע), שמשמשים כבר כיום מכפילי כוח בתעשייה האזרחית.

היבטים בינלאומיים, דיפלומטיים, מודיעיניים ושיתופי פעולה

יש צורך לעקוב בצורה סדורה, ברמה הלאומית, אחר המתרחש במערכת הבינלאומית בתחומי בינה מלאכותית ומדעי הנתונים, במטרה לשמר את היתרון של ישראל בהם, כולל בכל מה שקשור לאמנות ותקנים.

יש לבסס תוכנית מקיפה למדידה, הערכה ומעקב אחר התקדמות היכולות של שחקנים שונים (אזרחיים או לאומיים) בתחום הבינה המלאכותית, למניעת הפתעה אסטרטגית.

יש לפעול לחיזוק מחקר משותף ושיתופי פעולה נוספים בין ישראל ובין מדינות אחרות.

על ישראל להשתתף ואף להוביל קואליציית מדינות בתחום הבינה המלאכותית, כמו בתחומי המודיעין או ההגנה האווירית ובתחומים נוספים.

על ישראל להשתלב ביוזמות בינלאומיות ואף להובילן, לצורך הגבלה של גורמים סוררים שתמנע מהם להגיע להישגים בתחום, בין ביוזמות ביטחוניות ובין ביוזמות אזרחיות.

יש לבחון אילו יישומי בינה מלאכותית, אם בכלל, על המדינה לשאוף להגביל (או לשאוף למנוע את הגבלתם) באמצעות אמונות.

הערות

- Chris Smith, "The History of Artificial Intelligence," *University of Washington*, (2006), 4, 1
<https://courses.cs.washington.edu/courses/csep590/06au/projects/history-ai.pdf>
- Edward Geist and Andrew Lohn, "How Might Artificial Intelligence Affect the Risk of 2
Nuclear War?," *RAND*, (2018): 9.
- שם. 3
- שם. 4
- Kelley M. Sayler and Daniel S. Hoadley, "Artificial Intelligence and National Security," 5
Congressional Research Service (Washington, D.C, 2019),. 2.
- Geist and Lohn, "How Might", 6. 6
- Geist and Lohn, "How Might" 7
- Sayler and Hoadley, "Artificial Intelligence". 8
- שם. 9
- William A. Carter et al., "A National Machine Intelligence Strategy for the United States," 10
Center for Strategic and International Studies, (March 2018), 14.
- [https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/publication/180227_Carter_](https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/publication/180227_Carter_MachineIntelligence_Web.PDF?CLIXGgQQQoc78akgCk.2StKO7NsrC2J1)
[MachineIntelligence_Web.PDF?CLIXGgQQQoc78akgCk.2StKO7NsrC2J1](https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/publication/180227_Carter_MachineIntelligence_Web.PDF?CLIXGgQQQoc78akgCk.2StKO7NsrC2J1)
- DARPA – Defense Advanced Research Projects Agency 11
- John Launchbury, "A DARPA Perspective on Artificial Intelligence," *TechnicaCuriosa*, 12
(2017), [https://machinelearning.technicacuriosa.com/2017/03/19/a-darpa-perspective-on-](https://machinelearning.technicacuriosa.com/2017/03/19/a-darpa-perspective-on-artificial-intelligence)
[artificial-intelligence](https://machinelearning.technicacuriosa.com/2017/03/19/a-darpa-perspective-on-artificial-intelligence)
- שם. 13
- שם. 14
- שם. 15
- שם. 16
- שם. 17
- Roey Tzezana, "Artificial Intelligence Tech Will Arrive in Three Waves," *Futurism*, (2017), 18
<https://futurism.com/artificial-intelligence-tech-will-arrive-in-three-waves>
- Scott Jones, "Third Wave AI: The Coming Revolution in Artificial Intelligence," *Medium*, 19
(2018), [https://medium.com/@scott_jones/third-wave-ai-the-coming-revolution-in-artificial-](https://medium.com/@scott_jones/third-wave-ai-the-coming-revolution-in-artificial-intelligence-1ffd4784b79e)
[intelligence-1ffd4784b79e](https://medium.com/@scott_jones/third-wave-ai-the-coming-revolution-in-artificial-intelligence-1ffd4784b79e)
- אפשרית גן-אל, "האזינו: התוכנה החכמה של גוגל שיוצעת להזמין תורים בטלפון", 9 **גלובס**, 9 במאי 20
<https://www.globes.co.il/news/article.aspx?did=1001235265>, 2018
- John Launchbury, "A DARPA Perspective". 21
- Sayler and Hoadley, "Artificial Intelligence", 1. 22
- Geist and Lohn, "How Might", 9. 23

Darrell M. West and John R. Allen, "How Artificial Intelligence Is Transforming the World,"	24
<i>Brookings</i> , 2018,	
https://www.brookings.edu/research/how-artificial-intelligence-is-transforming-the-world	
West and Allen, "How Artificial".	25
Shubhendu S. Shukla and Vijay Jaiswal, "Applicability of Artificial Intelligence in Different	26
Fields of Life," <i>International Journal of Scientific Engineering and Research</i> 1, no. 1	
(2013), 28.	
Launchbury, "A DARPA Perspective".	27
West and Allen, "How Artificial".	28
Sayler and Hoadley, "Artificial Intelligence", 1-2.	29
Sayler and Hoadley, "Artificial Intelligence", 2.	30
Paul Scharre and Michael Horowitz, "What Every Policymaker Needs to Know," (Washington,	31
D.C: Center For a New American Security (2018), 4.	
Sayler and Hoadley, "Artificial Intelligence", 2.	32
גץ ואחרים, בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה: דו"ח ראשון , מוסד שמואל	33
נאמן (חיפה, 2018), 56.	
trial and error.	34
Scharre and Horowitz, "What Every Policymaker", 5.	35
שם.	36
Bernard Marr, "What Is Deep Learning AI? A Simple Guide With 8 Practical ;1,	37
Examples," <i>Forbes</i> , 2018.	
Scharre and Horowitz, "What Every Policymaker", 6.	38
גץ ואחרים, בינה מלאכותית , 56-57.	39
Dataman, "What Is Image Recognition?," <i>Towards Data Science</i> (2018),	40
https://towardsdatascience.com/module-6-image-recognition-for-insurance-claim-handling-	
part-i-a338d16c9de0	
https://cloud.google.com/vision	41
שם.	42
גץ ואחרים, בינה מלאכותית , 63.	43
William D. Eggers, Matt Gracie and Neha Malik, "Using AI to Unleash the Power of	44
Unstructured Government Data: Applications and Examples of Natural Language Processing	
(NLP) Across Government", <i>Deloitte Insights</i> , (2019), 3.	
שם.	45
גץ ואחרים, בינה מלאכותית , 63.	46
שם.	47
Kacper Kubara, "Artificial Intelligence Meets the Internet of Things," <i>Towards Data Science</i> ,	48
(2019), https://towardsdatascience.com/artificial-intelligence-meets-the-internet-of-things-	
a38a46210860	
Sayler and Hoadley, "Artificial Intelligence", 2.	49
שם.	50
שם.	51
Samuel Gibbs, "Google's AI Is Being Used by US Military Drone Programme," <i>The</i>	52
<i>Guardian</i> , May 7, 2018, https://www.theguardian.com/technology/2018/mar/07/google-	
ai-us-department-of-defense-military-drone-project-maven-tensorflow	

- Adam Bryant, "Target Recognition and Adaption in Contested Environments (TRACE)", 53
DARPA, <http://www.darpa.mil/program/trace>
- יואב זיתון ואיתמר אייכנר, "500 סיכולים בשנה: נתניהו וראש השב"כ העניקו פרס למבצעים 54
פורצי דרך", *Ynet*, 5 בדצמבר 2018,
<https://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-5420118,00.html>
- נורית כהן-אינגר וגל קמינקא, "והרי התחזית: צה"ל בדרך לצבא תבוני – מפת דרכים לאימוץ 55
טכנולוגיות בינה מלאכותית בצה"ל", *בין הקטבים* גיליון 18 (2018), 95.
- Sayler and Hoadley, "Artificial Intelligence", 9. 56
- Nat Levy "Amazon's newest pillars? AI and logistics key to tech giant's future, study says" 57
at GEEKWire, April 24, 2017,
<https://www.geekwire.com/2017/amazons-newest-pillars-ai-logistics-key-tech-giants-future-study-says>
- "Autonomous Weapon Systems - Q & A," *International Committee of the Red Cross*, (2014), 58
<https://www.icrc.org/en/document/autonomous-weapon-systems-challenge-human-control-over-use-force>
- Billy Perrigo, "A Global Arms Race for Killer Robots Is Transforming the Battlefield," 59
TIME, April 9, 2018, <https://time.com/5230567/killer-robots>
- Paul Scharre, "Robotics on the Battlefield Part I: Range, Persistence and Daring," *Center for 60
a New American Security* (Washington, DC: Center For a New American Security, (2014),
https://s3.amazonaws.com/files.cnas.org/documents/CNAS_RoboticsOnTheBattlefield_Scharre.pdf?mtime=20160906081925
- Human Rights Watch, "Losing Humanity: The Case against Killer Robots", IHRC, 11, 61
<https://www.hrw.org/sites/default/files/reports/Losing%20Humanity%20Executive%20Summary.pdf>
- Dan Gettinger and Arthur.H Michel, "Loitering Munitions," *The Center for the Study of 62
the Drone at Bard College* (2017),
<https://dronecenter.bard.edu/files/2019/10/CSD-Drone-Databook-Web.pdf>
- Ingvild Bode and Hendrik Huelss, "Autonomous Weapons Systems and Changing Norms 63
in International Relations," *Review of International Studies* 44, no. 3 (2018): 393–413,
<https://doi.org/10.1017/S0260210517000614>
- נורית כהן-אינגר וגל א' קמינקא, "והרי התחזית". 64
- Tom Upchurch, "How China Could Beat the West in the Deadly Race for AI Weapons," 65
Wired, August 8, 2018, <https://www.wired.co.uk/article/artificial-intelligence-weapons-warfare-project-maven-google-china>
- Elsa Kania, "Learning Without Fighting: New Developments in PLA Artificial Intelligence 66
War-Gaming," *The Jamestown Foundation* (2019), <https://jamestown.org/program/learning-without-fighting-new-developments-in-pla-artificial-intelligence-war-gaming>
- נטע גורביץ, "אלפא-גו ניצחה את אלוף משחק הגו העולמי – מה קורה כשלמחשב יש אינטואיציות?" 67
הארץ, 30 במרס 2016, <https://www.haaretz.co.il/magazine/.premium-1.2898680>
- Sayler and Hoadley, "Artificial Intelligence", 12. 68
- שם. 69
- Launchbury, "A DARPA Perspective". 70
- Sayler and Hoadley, "Artificial Intelligence", 10-11. 71

- Marc Ph. Stoecklin, "DeepLocker: How AI Can Power a Stealthy New Breed of Malware," *Security Intelligence*, August 8, 2018, <https://securityintelligence.com/deeplocker-how-ai-can-power-a-stealthy-new-breed-of-malware> 72
- Nancy Jones-Bonbrest, U.S. Army, Artificial Intelligence improves Soldiers' electronic warfare user interface, in: U.S. ARMY website, March 18, 2019, https://www.army.mil/article/218705/artificial_intelligence_improves_soldiers_electronic_warfare_user_interface 73
- אליחי וידל, "ד"ר קירה רדינסקי יודעת מה יקרה בעתיד – וכבר הרוויחה מזה מיליונים", *TheMarker*, 22 ביולי 2016, <https://www.themarker.com/markerweek/1.3014535> 74
- Naveen Joshi and Cognitive World, "How AI Can And Will Predict Disasters," *Forbes*, March 15, 2019, <https://www.forbes.com/sites/cognitiveworld/2019/03/15/how-ai-can-and-will-predict-disasters/#647259f85be2> 75
- Anoushka Deshmukh, "How DOD Is Using AI to Speed Disaster Relief," *Defense Systems*, July 10, 2019, <https://defensesystems.com/articles/2019/07/10/ai-disaster-relief.aspx> 76
- גץ ואחרים, *בינה מלאכותית*, 57-58. 77
- Lynn Metcalf, David A. Askay and Louis B. Rosenberg, "Keeping Humans in the Loop: Artificial Swarm Intelligence to Improve Business Decision Making," *California Management Review* 61, no. 4 (2019): 84-109, <https://doi.org/10.1177/0008125619862256> 78
- Defense Advanced Research Projects Agency, "DARPA Seeks Proposals for Third OFFSET Swarm Sprint, Awards Contracts for Second," (2018), <https://www.darpa.mil/news-events/2018-10-12> 79
- Jay Peters, "Watch DARPA Test Out a Swarm of Drones," *The Verge*, August 9, 2019, <https://www.theverge.com/2019/8/9/20799148/darpa-drones-robots-swarm-military-test> 80
- גץ ואחרים, *בינה מלאכותית*, 63. 81
- Mick Ryan, "Human-Machine Teaming For Future Ground Forces", CSBA, (2018). 82
- Jeff Coleman, "Brain Computer Interface with Artificial Intelligence and Reinforcement Learning," *Medium*, May 4, 2018, <https://medium.com/@askwhy/brain-computer-interface-with-artificial-intelligence-and-reinforcement-learning-9c94b0454209> 83
- Alexandre Gonfalonieri, "A Beginner's Guide to Brain-Computer Interface and Convolutional Neural Networks," *Medium*, November 25, 2018, <https://towardsdatascience.com/a-beginners-guide-to-brain-computer-interface-and-convolutional-neural-networks-9f35bd4af948> 84
- Sarah Marsh, "Neurotechnology, Elon Musk and the Goal of Human Enhancement," *The Guardian*, January 1, 2018, <https://www.theguardian.com/technology/2018/jan/01/elon-musk-neurotechnology-human-enhancement-brain-computer-interfaces> 85
- Coleman, "Brain Computer Interface" 86
- Bernard Marr, "How Much Data Do We Create Every Day? The Mind-Blowing Stats Everyone Should Read," *Forbes*, May 21, 2018, <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/05/21/how-much-data-do-we-create-every-day-the-mind-blowing-stats-everyone-should-read/#7356097a60ba> 87
- Gil Press, "12 Big Data Definitions: What's Yours?," *Forbes*, September 3, 2014, <https://www.forbes.com/sites/gilpress/2014/09/03/12-big-data-definitions-whats-yours/#56a9281013ae> 88
- Joshua Bleiberg and Darrell M. West, "Using Standards to Make Big Data Analytics That Work," *Brookings*, March 7, 2014, <https://www.brookings.edu/blog/techtank/2014/03/07/using-standards-to-make-big-data-analytics-that-work> 89

- 90 קילופלופס – אלפי פלופס: FLOPS - Floating Point Operations Per Second
- 91 כרמל שור, "מהו מחשב עליו?", מכון דוידסון, 5 בפברואר 2017, <https://davidson.weizmann.ac.il/>,
online/askexpert-מהו-מחשב-על.
- 92 "The Next Wave of AI Won't Happen Without Supercomputing," *Cray Blog*, June 11, 2019,
<https://www.cray.com/blog/ai-wont-happen-without-supercomputing>
- 93 Elsa B. Kania and John Costello, "Quantum Hegemony?," *Center for New American Security*
(Washington, D.C, 2018), 5.
- 94 "What Is Quantum Computing?," IBM, (2019), [https://www.research.ibm.com/ibm-q/learn/](https://www.research.ibm.com/ibm-q/learn/what-is-quantum-computing)
what-is-quantum-computing
- 95 שם.
- 96 Kania and Costello, "Quantum Hegemony?" 3-4.
- 97 אורי ברקוביץ' וטל שחר, "העולם על סף מהפכה קוונטית וישראל חייבת להיכנס למרוץ", **גלובס**,
20 ביולי 2018, <https://www.globes.co.il/news/article.aspx?did=1001246863>
- 98 Peter Mell and Timothy Grance, "The NIST Definition of Cloud Computing: Recommendations
of the National Institute of Standards and Technology," *National Institute of Standards and*
Technology (Washington, D.C, 2011), 2.
- 99 "What Is Cloud Computing," Amazon (2019),
<https://aws.amazon.com/what-is-cloud-computing>
- 100 Mell and Grance, "The NIDT", 2-3.
- 101 Yahya Mohamed Mao, "Combining Cloud Computing and Artificial Intelligence (AI)," *Medium*,
April 23, 2018, [https://medium.com/nworld-publications/combining-cloud-computing-and-](https://medium.com/nworld-publications/combining-cloud-computing-and-artificial-intelligence-ai-9db02226c7e3)
artificial-intelligence-ai-9db02226c7e3
- 102 Amy Nordrum, Kirsten Clark & IEEE Spectrum Staff, "Everything You Need To Know
About 5g," *IEEE Spectrum*, January 27, 2017,
<https://spectrum.ieee.org/video/telecom/wireless/everything-you-need-to-know-about-5g>
- 103 Jill C. Gallagher and Michael E. Devine, "Fifth-Generation (5G) Telecommunications
Technologies: Issues for Congress", Washington, D.C: Congressional Research Service,
January 30, 2019, <https://fas.org/sgp/crs/misc/R45485.pdf>
- 104 Sarah Yost, "Brave New World: Everything Gets Smarter When 5G and AI Combine,"
Electronic Design, February 11, 2019, [https://www.mwrf.com/technologies/systems/](https://www.mwrf.com/technologies/systems/article/21849569/brave-new-world-everything-gets-smarter-when-5g-and-ai-combine)
article/21849569/brave-new-world-everything-gets-smarter-when-5g-and-ai-combine
- 105 Pei Wang et al., "Conceptions of Artificial Intelligence and Singularity," *Information* 9, no.
4 (April 2018): 79, <https://doi.org/10.3390/info9040079>, 2
- 106 Luke Muehlhauser, "What Is AGI?," *Machine Intelligence Research Institute*, August 11,
2013, <https://intelligence.org/2013/08/11/what-is-agi>
- 107 שם.
- 108 M. L. Cummings et al., *Artificial Intelligence and International Affairs Disruption Anticipated*,
(Chatham House, 2018), [https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/](https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/research/2018-06-14-artificial-intelligence-international-affairs-cummings-roff-cukier-parakilas-bryce.pdf)
research/2018-06-14-artificial-intelligence-international-affairs-cummings-roff-cukier-
parakilas-bryce.pdf, iv
- 109 Seth D. Baum, Ben Goertzel, and Ted G. Goertzel, "How Long Until Human-Level AI?
Results from an Expert Assessment Seth," *Technological Forecasting & Social Change* 78,
no. 1 (2011): 185–95.
- 110 שם.

- John E. Laird et al., "Claims and Challenges in Evaluating Human-Level Intelligent Systems," 111
ResearchGate, 2009, https://www.researchgate.net/publication/237834193_Claims_and_Challenges_in_Evaluating_Human-Level_Intelligent_Systems
- Vedran Dunjko and Hans J Briegel, "Machine Learning & Artificial Intelligence in the 112
Quantum Domain: A Review of Recent Progress," *Reports on Progress in Physics* 81, no.
7 (July 2018), <https://doi.org/10.1088/1361-6633/aab406>
- William J. Dally et al., "Hardware-Enabled Artificial Intelligence," in *IEEE Symposium on 113
VLSI Circuits* (Honolulu, HI: IEEE, 2018), 3–6, <https://doi.org/10.1109/VLSIC.2018.8502368>
- 114
Dally et al., "Hardware-Enabled" טכנולוגיות מתפתחות דוגמת מחשוב קוונטי טומנות בחובן
הבטחה להשתלב ולקדם לאין שיעור את תחום למידת המכונה וה-AI. אולם מוקדם עדיין
להגיד אם היא המפתח שבכוחו להביא לפיתוחה של בינה מלאכותית כללית. לקריאה נוספת
Dunjko and Briegel, "Machine Learning & Artificial Intelligence in the Quantum
Domain: A Review of Recent Progress."; Mikhail Dyakonov, "When Will Useful Quantum
Computers Be Constructed? Not in the Foreseeable Future, This Physicist Argues. Here's
Why: The Case against: Quantum Computing," *IEEE Spectrum* 56, no. 3 (2019): 24–29,
<https://doi.org/10.1109/MSPEC.2019.8651931>
- Wim Naudé and Nicola Dimitri, "The Race for an Artificial General Intelligence : Implications 115
for Public Policy" (Bonn, 2018), <https://www.iza.org/publications/dp/11737/the-race-for-an-artificial-general-intelligence-implications-for-public-policy>
- Michael C. Horowitz, "Artificial Intelligence, International Competition, and the Balance 116
of Power," *Texas National Security Review* 1, no. 3 (2018): 37–57, 46-54.
- Stuart Armstrong, Nick Bostrom and Carl Shulman, "Racing to the Precipice: A Model of 117
Artificial Intelligence Development," *Technical Report #2013-1*, vol. 31, 2013,
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00146-015-0590-y>
- Nick Bostrom, "Strategic Implications of Openness in AI Development," *Global Policy* 8, 118
no. 2 (2017): 1–14, <https://doi.org/10.1111/1758-5899.12403>
- Martin Ford, *Rise of the Robots: Technology and the Threat of a Jobless Future* (Basic 119
Books, 2015), 1-353.
- James Johnson, "Artificial Intelligence & Future Warfare: Implications for International 120
Security," *Defense and Security Analysis* 35, no. 2 (2019): 147–69,
<https://doi.org/10.1080/14751798.2019.1600800>
- Horowitz, "Artificial Intelligence", 45. 121
- "Artificial intelligence is the future, not only for Russia, but for all humankind. It comes 122
with colossal opportunities, but also threats that are difficult to predict. Whoever becomes
the leader in this sphere will become the ruler of the world" - "Whoever Leads in AI Will
Rule the World": Putin to Russian Children on Knowledge Day", *RT World News*, 2017,
<https://www.rt.com/news/401731-ai-rule-world-putin>
- The White House, "The Administration's Report on the Future of Artificial Intelligence", 123
October 12, 2016. <https://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2016/10/12/administrations-report-future-artificial-intelligence>
- "The National Security Strategy of the United States of America," 2017, 20-21. 124
<https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2017/12/NSS-Final-12-18-2017-0905.pdf>
- Jim Mattis, U.S Secretary of Defense, "Summary of 2018 National Defense Strategy of States 125
of America: Sharpening the American Military's Competitive Edge", 2018, p.5. [https://dod.
defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/2018-National-Defense-Strategy-Summary.pdf](https://dod.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/2018-National-Defense-Strategy-Summary.pdf)

- שם. 126
- “Artificial Intelligence for the American People,” accessed May 22, 2019, 127
<https://www.whitehouse.gov/ai/executive-order-ai>
- Sayler and Hoadley, “Artificial Intelligence”, 2. 128
- “AI Policy - United States,” *Future of Life Institute*, 2019, 129
<https://futureoflife.org/ai-policy-united-states/?cn-reloaded=1>
- U.S Government Publishing Office, *A Budget for a Better America: Fiscal Year 2020* 130
(Washington: US. Government Publishing Office, 2019), 267-273.
- Sayler and Hoadley, “Artificial Intelligence”, 5. 131
- גיא פאגלין, “מרוץ החידוש: שינוי פרדיגמה במערכת המחקר והפיתוח הביטחוני”, **בין הקטבים** 132
30-15,18 (2018).
- Sayler and Hoadley, “Artificial Intelligence”, 8. 133
- שם, 17. 134
- שם, 18. 135
- Scott Shane and Daisuke Wakabayashi, “‘The Business of War’: Google Employees 136
Protest Work for the Pentagon,” *The New York Times*, April 4, 2018, <https://www.nytimes.com/2018/04/04/technology/google-letter-ceo-pentagon-project.html>
- לירן ענתבי, “לא ירחק היום שבו לרובוטים תהיה אצבע על ההדק”, **הארץ**, 24 באוגוסט 2017, 137
<https://www.haaretz.co.il/misc/article-print-page/.premium-1.4385839>
- המונח אקוסיסטם שאל מתחום הביולוגיה ומשמעותו מערכת הפועלת באינטראקציה, בשיתוף 138
פעולה ובהפריה הדדית. בהקשר הטכנולוגי, ההתייחסות לאקוסיסטם נוטה להתמקד בגופים
ובארגונים המרכיבים את הנוף הטכנולוגי במדינה: האקדמיה, התעשייה הפרטית-אזרחית,
הצבא ותעשיית הביטחון והממשל. מקובל להכיר בחשיבותו של שיתוף פעולה פורה בין חלקי
האקוסיסטם כחיוני להתפתחות טכנולוגית איכותית ומהירה.
- Graham Webster et al., “Full Translation: China’s ‘New Generation Artificial Intelligence 139
Development Plan’ (2017),” *New America*, August 1, 2017,
<https://www.newamerica.org/cybersecurity-initiative/digichina/blog/full-translation-chinas-new-generation-artificial-intelligence-development-plan-2017>
- Lindsey R. Sheppard et al., “Artificial Intelligence and National Security: The Importance 140
of an AI Ecosystem,” *Center for Strategic and International Studies*, November 5, 2018,
49. <https://www.csis.org/analysis/artificial-intelligence-and-national-security-importance-ai-ecosystem>
- שם. 141
- Sayler and Hoadley, “Artificial Intelligence”, 20 142
- Gregory C. Allen, “Understanding China’s AI Strategy: Clues to Chinese Strategic Thinking 143
on Artificial Intelligence and National Security,” *Center for a New American Security*,
February 6, 2019, 15. <https://www.chinacurated.com/2019/02/06/understanding-chinas-ai-strategy-cn-as>
- Amy K. Lehr, “Responding to the Xinjiang Surveillance State—and Its Likely Progeny,” 144
Center for Strategic and International Studies, November 13, 2018,
<https://www.csis.org/analysis/responding-xinjiang-surveillance-state-and-its-likely-progeny>
- Matthew P. Goodman, “Predatory Economics and the China Challenge,” *Center for Strategic 145
and International Studies*, vol. VI, Issue 11, November 21, 2017,
<https://www.csis.org/analysis/predatory-economics-and-china-challenge>
- Allen, “Understanding China’s”. 146

- Sheppard et al., "Artificial Intelligence", 49. 147
- Sayler and Hoadley, "Artificial Intelligence", 7. 148
- Sheppard et al., "Artificial Intelligence", 51. 149
- אנשיל פפר, "ישראל תמכור מל"טים לרוסיה כדי שתבטל עסקה עם איראן", *הארץ*, 25 ביוני 2019, <https://www.haaretz.co.il/news/politics/1.1267820>, 2009 150
- Samuel Bendett, "Putin Orders Up a National AI Strategy," *Defense One*, January 31, 2019, 151
<https://www.defenseone.com/technology/2019/01/putin-orders-national-ai-strategy/154555/>
- "AI Policy – Russia," *Future of Life Institute*, February 2020, 152
<https://futureoflife.org/ai-policy-russia>
- חלק מההערכות מציינות ששנת היעד היא 2025. 153
- Sheppard et al., "Artificial Intelligence", 47-48. 154
- שם, 48. 155
- Samuel Bendett, "In AI, Russia Is Hustling to Catch Up," *Defense One*, April 4, 2018, 156
<https://www.defenseone.com/ideas/2018/04/russia-races-forward-ai-development/147178>
- Sheppard et al., "Artificial Intelligence", 48. 157
- Sayler and Hoadley, "Artificial Intelligence", 24. 158
- שם, 23. 159
- Sheppard et al., "Artificial Intelligence", 48. 160
- Bendett, "In AI". 161
- Aaron Bateman, "Russia's Quest to Lead the World in AI Is Doomed," *Defense One*, 162
 June 12, 2019, https://www.defenseone.com/ideas/2019/06/russias-quest-lead-world-ai-doomed/157663/?oref=defenseone_today_nl
- Daniel S. Hoadley and Nathan J. Lucas, "Artificial Intelligence and National Security," 163
Congressional Research Service, 2018.
- Sheppard et al., "Artificial Intelligence", 48. 164
- שם. 165
- Bendett, "In AI" 166
- Bateman, "Russia's Quest". 167
- European Commission, "Artificial Intelligence," 2019, 168
<https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/artificial-intelligence>
- European Commission, "EU Member States Sign up to Cooperate on Artificial 169
 IntelligenceGigabyte, April 10, 2018, <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/eu-member-states-sign-cooperate-artificial-intelligence>
- European Commission, "Artificial Intelligence for Europe," April 25, 2018, 2-3. 170
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0237&from=EN>
- European Commission, "Coordinated Plan on Artificial Intelligence", December 7, 2018, 3. 171
https://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/coordinated-plan-artificial-intelligence-com2018-795-final_en
- Fabian J. G. Westerheide, "The European AI Landscape," European Commission EU AI 172
 Workshop, April 18, 2018, <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/european-artificial-intelligence-landscape>
- Frank Slijper, Alice Beck and Daan Kayser, *State of AI, The Big Picture*, PAX/2019/08, 173
 23-25.
- Sheppard et al., "Artificial Intelligence" 174
- Slijper, Beck and Kayser, *State of AI* 175

- Sheppard et al., "Artificial Intelligence". 176
- Slijper, Beck and Kayser, *State of AI*, 23-25. 177
- "AI Policy - Germany," *Future of Life Institute*, 2019, 178
<https://futureoflife.org/ai-policy-germany>
- Sheppard et al., "Artificial Intelligence", 52. 179
- "AI Policy – United Kingdom," *Future of Life Institute*, 2019, 180
<https://futureoflife.org/ai-policy-united-kingdom/?cn-reloaded=1>
- Slijper, Beck and Kayser., *State of AI*, 19-21. 181
- שם. 182
- Cummings et al., *Artificial Intelligence*, iv. 183
- Nate Soares, "Safety Engineering, Target Selection, and Alignment Theory" *Future of Life* 184
Institute, January 2, 2016, 4-5.
- Nick Bostrom, "Strategic Implications of Openness in AI Development", *Global Policy*, 185
February 9, 2017, <https://doi.org/10.1111/1758-5899.12403>, 1.
- "Group of Governmental Experts of the High Contracting Parties to the Convention on 186
Prohibitions or Restrictions on the Use of Certain Conventional Weapons Which May Be
Deemed to Be Excessively Injurious or to Have Indiscriminate Effects", CCW, December
11, 2017, 1-6. <https://undocs.org/pdf?symbol=en/CCW/MSP/2017/8>
- Geist and Lohn, "How Might", 1-22. 187
- West and Allen, "How Artificial", 6-7. 188
- John Allen and Amir Hussain, "On HyperWar," *Fortuna's Corner*, January 2, 2018, 3-10. 189
- האנס י. מורגנטאו, **פוליטיקה בין האומות: המאבק לשלטון ולשלום**, כרך א' מהדורה 4, (תל- 190
אביב: יחדי, 1968), 155.
- לירן ענתבי, "תפוצת מערכות נשק אוטונומיות והשפעתה על היחסים הבינלאומיים" בתוך: **ביטחון** 191
לאומי במציאות 'נזילה', מזכר 189, המכון למחקרי ביטחון לאומי, מארס 2019.
<https://www.inss.org.il/he/publication/national-security-in-a-liquid-world/>
- Ryan Hass and Zach Balin, "US-China Relations in the Age of Artificial Intelligence," 192
Brookings, 2019, [https://www.brookings.edu/research/us-china-relations-in-the-age-of-](https://www.brookings.edu/research/us-china-relations-in-the-age-of-artificial-intelligence/)
[artificial-intelligence/](https://www.brookings.edu/research/us-china-relations-in-the-age-of-artificial-intelligence/), 1-14.
- Randall Schweller, "Opposite but Compatible Nationalisms: A Neoclassical Realist Approach 193
to the Future of US-China Relations," *Chinese Journal of International Politics* 11, no. 1
(February 8, 2018): 23–48, <https://doi.org/10.1093/cjip/poy003>, 25.
- Andrew Berg, Edward F Buffie and Luis-Felipe Zanna, "Robots, Growth, and Inequality," 194
Finance & Development 53, no. 3 (2016): 10–13.
- Ekkart Zimmermann, "Globalization and Terrorism," *European Journal of Political Economy* 195
27 (2011): S152–S161, <https://doi.org/10.1016/j.ejpoleco.2011.09.003>.
- Joshua P. Meltzer, "The Impact of Artificial Intelligence on International Trade," *Brookings*, 196
2018, 1.
- West and Allen, "How Artificial", 7-8. 197
- שם, 9–11. 198
- David G. Victor, "How Artificial Intelligence Will Affect the Future of Energy and Climate," 199
Brookings, 2019, 1-3.
- Zachary S. Davis, "Artificial Intelligence on the Battlefield: An Initial Survey of Potential 200
Implications for Deterrence, Stability, and Strategic Surprise," *Center for Global Security*
Research, 2019, 14-15.

- Andrew Williams, "Defining Autonomy in Systems: Challenges and Solutions," in *Autonomous Systems: Issues for Defence Policymakers*, eds. Andrew P. Williams and Paul D. Scharre (Norfolk: Capability Engineering and Innovation Division, Headquarters Supreme Allied Commander Transformation, 2014), 33. 201
- Liran Antebi, "The International Process to Limit Autonomous Weapon Systems: Significance for Israel," *Strategic Assessment* 21, no.3, INSS, (2018): 84. 202
- שם. 203
- Markus Wagner, "The Dehumanization of International Humanitarian Law: Legal, Ethical, and Political Implications of Autonomous Weapon Systems," *Vanderbilt Journal of Transnational Law*, vol. 47 no. 5, (2014): 1389-1392. 204
- שם. 205
- שם, 1399-1393. 206
- שם. 207
- שם, 1405-1399. 208
- Antebi, "The International Process", 85-86. 209
- שם. 210
- שם, 91-90. 211
- Cameron Russell, "A Case for Not Regulating the Development of Artificial Intelligence," Towards Data Science, 2019, *Towards Data Science*, April 2, 2019, <https://towardsdatascience.com/a-case-for-not-regulating-the-development-of-artificial-intelligence-f3d23db2e8cd> 212
- Antebi, "The International", 90-91. 213
- "Preparing for the Ethical Dilemmas of the AI Era," *Brookings*, September 14, 2018, 7, https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2018/09/gs_20180914_ethics_ai_transcript.pdf 214
- Startup Nation 215
- נטע לינון ואורי גבאי, **2019-2018 חדשנות בישראל – תמונת מצב** 19, רשות החדשנות, משרד הכלכלה והתעשייה, 2018, 53. 216
- ניסים חניה, "תמורות במערכת הפיתוח והייצור הביטחונית הישראלית ומידת התאמתה לעידן הנוכחי," **בין הקטבים** גיליון 6 (2016), 39-88. 217
- כהן-אינגר וקמינקא, "והרי התחזית." 218
- Amir Mizroch, "In Israel, A Stand Out Year For Artificial Intelligence Technologies", *Forbes*, March 11, 2019, <https://www.forbes.com/sites/startupnationcentral/2019/03/11/in-israel-a-stand-out-year-for-artificial-intelligence-technologies/#3ddd6d5230a8> 219
- כהן-אינגר וקמינקא, "והרי התחזית." 220
- דאטאניישן, "שנת שיא: סטארט-אפים של בינה מלאכותית גייסו 2.25 מיליארד דולר ב-2018", *TheMarker*, 21 במרץ 2019, <https://www.themarker.com/technation/datanation/1.7017976>, 21 במרץ 2019, 2019. 221
- גץ ואחרים, **בינה מלאכותית** 195-196. 222
- כהן-אינגר וקמינקא, "והרי התחזית." 223
- לירן ענתבי, "מטוסים ללא טייס במערכה האסימטרית: לשמר את היתרון לצד המדינת", בתוך **העשור השקט – מלחמת לבנון השנייה ותוצאותיה 2006-2016**, מזכר 161, עורכים: אודי דקל, גבי סיבוני ועומר עינב (תל אביב: המכון למחקרי ביטחון לאומי, 2016), 1-9. 224
- לירן ענתבי, "ישראל בפני שינויים עולמיים בתפוצת מל"טים חמושים: סכנות, אתגרים והזדמנויות" **סייבר, מודיעין וביטחון**, כרך 2 גיליון 3 (2018): 65-81. 225
- Sheppard et al., "Artificial Intelligence", 50-51. 226

- ענתבי, "מטוסים ללא טייס" 81. 227
- ענתבי, "ישראל בפני שינויים". 228
- Sheppard et al., "Artificial Intelligence" 50-51. 229
- פפר, "ישראל תמכור מל"טים". 230
- Robert Knake, "What the US Should Learn from Israel's Silicon Valley," *Defense One*, 231
December 19, 2016, https://www.defenseone.com/ideas/2016/12/what-us-should-learn-israels-silicon-valley/134013/?oref=d_brief_nl
- אור הירשאוה, "התעשיות הביטחוניות גילו את זירת הלחימה החמישית", *TheMarker*, 14 232
בינואר 2014, <https://www.themarker.com/technation/1.2216479>
- גץ ואחרים, **בינה מלאכותית**, 20-21. 233
- ענתבי, "מטוסים ללא טייס", 81. 234
- Lilach Baumer, "Despite Tech Prowess, Israel Ranks Low on Autonomous Vehicle Readiness - CTech," *Calcalist*, February 18, 2019, 235
<https://www.calcalistech.com/ctech/articles/0,7340,L-3756559,00.html>
- גרשון הכהן, **מה לאומי בביטחון הלאומי?** (הוצאת משרד הביטחון) 2014, 20. 236
- ישראל טל, "על ביטחון לאומי", **מערכות** 286, פברואר 1983, 3. 237
- Samuel M. Makinda, "Sovereignty and Global Security," *Security Dialogue*, 1998, Vol. 238
29(3) 29: 281-292.
- Human Security Unit, United Nations Office for the Coordination of Humanitarian 239
Affairs, Human Security in Theory and Practice <https://www.unocha.org/sites/dms/HSU/Publications%20and%20Products/Human%20Security%20Tools/Human%20Security%20in%20Theory%20and%20Practice%20English.pdf>
- אודי דקל ועומר עינב, **תפיסת ביטחון לאומי מעודכנת לישראל**, מזכר מיוחד, (תל-אביב: המכון 240
למחקרי ביטחון לאומי 2017), 7-8.
- שם, 7. 241
- דן מרידור ורון אלדדי, **תפיסת הביטחון של ישראל – דו"ח הוועדה לגיבוש תפיסת הביטחון 242
(ועדת מרידור) ובחירתו בחלופ עשור**, מזכר 182 (תל-אביב: המכון למחקרי ביטחון לאומי, 2018), 7.
- שם, 15. 243
- שם, 23-28. 244
- שם, 32-38. 245
- שם, 40. 246
- שם, 47. 247
- מדינת ישראל, צבא הגנה לישראל – לשכת הרמטכ"ל, **אסטרטגיית צה"ל**, אפריל 2018, 26-27. 248
- אסטרטגיית צה"ל 2018, 27. 249
- גיא פאגלין, "מרוץ החידוש". 250
- Sayler and Hoadley, "Artificial Intelligence". 251
- שם. 252
- Chris Middleton, "Google Using DeepMind AI to Reduce Energy Consumption by 30%," 253
Internet of Business, 2018, <https://tinyurl.com/y8jqgs78>
- James Vincent, "Mark Zuckerberg Shares Pictures from Facebook's Cold, Cold Data Center," 254
The Verge, 2016,
<https://www.theverge.com/2016/9/29/13103982/facebook-arctic-data-center-sweden-photos>
- Sayler and Hoadley, "Artificial Intelligence". 255
- Sheppard et al., "Artificial Intelligence". 256
- Sayler and Hoadley, "Artificial Intelligence". 257

- Sheppard et al., "Artificial Intelligence". 258
ש.ם. 259
ש.ם. 260
Saylor and Hoadley, "Artificial Intelligence" 261
ש.ם. 262
ש.ם. 263
ש.ם. 264
ש.ם. 265
ש.ם. 266
ש.ם. 267
"Perspectives on Research in Artificial Intelligence and Artificial General Intelligence Relevant to DoD," *The MITRE Corporation*, January 2017, 32, <https://fas.org/irp/agency/dod/jason/ai-dod.pdf> 268
Saylor and Hoadley, "Artificial Intelligence". 269
לירן ענתבי, "התהליך הבינלאומי להגבלת מערכות נשק אוטונומיות: משמעויות לישראל", **עדכן אסטרטגי** גיליון 3, כרך 21 (2018), המכון למחקרי ביטחון לאומי, 75-86. 270
Saylor and Hoadley, "Artificial Intelligence"; West and Allen, "How Artificial" 271
Bernard Marr, "Artificial Intelligence Has A Problem With Bias, Here's How To Tackle It," *Forbes*, January 29, 2019, <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2019/01/29/3-steps-to-tackle-the-problem-of-bias-in-artificial-intelligence/#3f51bdb27a12>. 272
Mesut Ozdag, "Adversarial Attacks and Defenses against Deep Neural Networks: A Survey," *Procedia Computer Science* 140 (2018): 152–161, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.315>; Jacob Steinhardt, Pang Wei Koh, and Percy Liang, "Certified Defenses for Data Poisoning Attacks," *Advances in Neural Information Processing Systems* 2017-Decem, no. i (2017): 3520–3532. 273
Patrick Hall, "Proposals for Model Vulnerability and Security," *O'Reilly Media*, March 20, 2019, <https://www.oreilly.com/ideas/proposals-for-model-vulnerability-and-security> 274
Mark Coeckelbergh, "Moral appearances: emotions, robots, and human morality," *Ethics and Information Technology* 12.3 (2010): 235-241. 275
Andreas Matthias, "The Responsibility Gap: Ascribing Responsibility for the Actions of Learning Automata," *Ethics and Information Technology* 6 (2004), 175. 276
Rebecca Crotoft, "War Torts: Accountability for Autonomous Weapons," *University of Pennsylvania Law Review* 164, no. 6 (2016): 1347-1348. 277
Saylor and Hoadley, "Artificial Intelligence" 278
Rayn Daws, "Report: UK leads AI developments in Europe, Iran in Middle-East", *AINEWS*, November 11, 2019 <https://artificialintelligence-news.com/2019/11/11/report-uk-ai-developments-europe-iran-middle-east> 279
"Iran Ready to Coop. with Islamic States in AI Technology, says Rouhani" *MEHR News Agency*, December 18, 2019. <https://en.mehrnews.com/news/153485/Iran-ready-to-coop-with-Islamic-states-in-AI-technology-says> 280
Saylor and Hoadley, "Artificial Intelligence". 281
ש.ם. 282
Michael C. Horowitz, et al., "Artificial Intelligence and International Security," *Center for a New American Security*, July 2018, 3-4, https://s3.amazonaws.com/files.cnas.org/documents/CNAS-AI-and-International-Security-July-2018_Final.pdf?mtime=20180709122303

- Allen, "Understanding China's". 283
- Horowitz et al., "Artificial Intelligence", 3-4. 284
- Horowitz et al., "Artificial Intelligence". 285
- שם. 286
- John Villasenor, "Artificial Intelligence, Deepfakes, and the Uncertain Future of Truth," *Brookings*, February 14, 2019, <https://www.brookings.edu/blog/techtank/2019/02/14/artificial-intelligence-deepfakes-and-the-uncertain-future-of-truth> 287
- "The Fourth Industrial Revolution: Things to Tighten the Link Between IT and OT," VINT 288
- research report 3 of 4 Sogeti, 2014, 11-14; World Economic Forum, "The Future of Jobs Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution," *VOCED plus*, January 2016,. 5.
- John Hawksorth, "AI and Robots Could Create as Many Jobs as They Displace," *World Economic Forum*, September 18, 2018, <https://www.weforum.org/agenda/2018/09/ai-and-robots-could-create-as-many-jobs-as-they-displace> 289
- סמדר סומך וחאלד קאדרי, **עתיד עולם העבודה: סקירת מגמות מרכזיות**, (מכון מאירס ג'וינט ברוקדייל 2017), 120. 290
- Katja Grace et al., "Viewpoint: When Will AI Exceed Human Performance? Evidence from AI Experts," *Journal of Artificial Intelligence Research* 62, July 2018, 729. 291
- אסף אוני, "החוקר הפיני שסחף את העולם עם רעיון ההכנסה הבסיסית: גם את העבודות חשבו שלא יהיה ניתן לבטל", **גלובס**, 15 בפברואר 2019, <https://www.globes.co.il/news/article.aspx?did=1001273333> 292
- נרית כהן, "האם רובוטים צריכים לשלם מס הכנסה?", **גלובס**, 15 בספטמבר 2017, <https://www.globes.co.il/news/article.aspx?did=1001205097> 293
- "World Inequality Report 2018," *World Inequality Lab*, 2018, 199-201. 294
- Julia Bossmann, "Top 9 Ethical Issues in Artificial Intelligence," *World Economic Forum*, October 21, 2016, <https://www.weforum.org/agenda/2016/10/top-10-ethical-issues-in-artificial-intelligence> 295
- יובל נח הררי, **21 מחשבות על המאה ה-21** (כנרת, זמורה-ביתן, דביר, 2018). 296
- Ian Sherr and Richard Nieva, "Department of Justice Kicks off Antitrust Review of Tech Giants," *CNET*, July 23, 2019, <https://www.cnet.com/news/departments-of-justice-kicks-off-antitrust-review-of-tech-giants/>; Emily Stewart, "Breaking up Big Tech Companies like Amazon and Google Is Really Popular, Poll Shows," *Vox*, September 18, 2019, <https://www.vox.com/policy-and-politics/2019/9/18/20870938/break-up-big-tech-google-facebook-amazon-poll> 297

מזכרי המכון למחקרי ביטחון לאומי, מאי 2019–היום

- מזכר 204, ספטמבר 2020, עורכים: קובי מיכאל ומיכל חטואל-רדושיצקי, 70 שנות אונר"א – עת לרפורמה מבנית ותפקודית [מהדורה אנגלית].
- מזכר 203, ספטמבר 2020, עורך: אופיר וינטר, כי לא לעולם חוסן: תרחישי איום קיומיים על מדינת ישראל [מהדורה אנגלית].
- מזכר 202, יולי 2020, עורכים: ששון חדד, תומר פדלון ושמואל אבן, התעשייה הביטחונית בישראל והסיוע האמריקאי [מהדורה אנגלית].
- מזכר 201, מאי 2020, עורכים: ששון חדד, תומר פדלון ושמואל אבן, התעשייה הביטחונית בישראל והסיוע האמריקאי.
- מזכר 200, מאי 2020, ציפי ישראלי, מדד הביטחון הלאומי, מגמות בדעת הקהל בישראל.
- מזכר 199, מאי 2020, עורכים: קובי מיכאל ומיכל חטואל-רדושיצקי, 70 שנות אונר"א – עת לרפורמה מבנית ותפקודית.
- מזכר 198, דצמבר 2019, עורך: אופיר וינטר, כי לא לעולם חוסן: תרחישי איום קיומיים על מדינת ישראל.
- מזכר 197, אוקטובר 2019, עורכים: יוסי קופרווסר ודודי סימן טוב, המערכה על התודעה: היבטים אסטרטגיים ומודיעניים [מהדורה אנגלית].
- מזכר 196, ספטמבר 2019, גדי איזנקוט וגבי סיבוני, קווים מנחים לתפיסת הביטחון לישראל.
- מזכר 195, ספטמבר 2019, עורכות: כרמית פדן וורה מיכלין שפיר, ביטחון לאומי במציאות 'נזילה' [מהדורה אנגלית].
- מזכר 194, אוגוסט 2019, עורכים: אסף אוריון וגליה לביא, יחסי ישראל-סין: הזדמנויות ואתגרים [מהדורה אנגלית].
- מזכר 193, יולי 2019, יואל גוז'נסקי, מרים גולדמן ואליס שטיינברג, בין חוסן למהפכה – יציבות המשטרים המלוכניים במפרץ [מהדורה אנגלית].
- מזכר 192, יולי 2019, עורך: גבי סיבוני, קווים מנחים לאסטרטגיית אבטחה לאומית.
- מזכר 191, מאי 2019, עורכים: יוסי קופרווסר ודודי סימן טוב, המערכה על התודעה: היבטים אסטרטגיים ומודיעניים.

בינה מלאכותית היא שם כולל למערכות מחשב מבוססות נתונים, שמסוגלות להפיק תובנות וידע חדשים באמצעות יכולות כמו הבנה, הנמקה ותפיסה – שעד כה נתפסו כיכולות הייחודיות לבני אנוש. מומחים מעריכים כי בעתיד בינה מלאכותית תשנה את חיינו לבלי הכר, כאשר תשתלט על מגוון פעולות מוכרות ותאפשר טווח רחב של יכולות ויישומים חדשים. טכנולוגיה זו משפיעה כבר כיום על תחומים רבים, וביניהם באופן בולט על הביטחון הלאומי. ההבנה שבינה מלאכותית כבר אינה טכנולוגיה עתידנית או עתידית אלא דרישת יסוד בהווה שבו אנו חיים החלה לחלחל בשנים האחרונות במדינות ובארגונים רבים. לאור השפעתה הפוטנציאלית של הטכנולוגיה ומעמדה של ישראל כמובילה בתחום זה, התכנס בשנת 2019 צוות מומחים במכון למחקרי ביטחון לאומי, על מנת לגבש מדיניות מומלצת לישראל בתחום.

מזכר זה מבקש בין היתר להוות "מורה נבוכים" להיכרות עם סוגיות הליבה והמונחים הקשורים לבינה מלאכותית, וכן להציג את המחקר שנערך סביב עבודת צוות המומחים ולאחריה, כמו גם את ההמלצות למדיניות שמתבססות על מסקנות הצוות. המזכר מציג את הטכנולוגיה ואת יישומיה הביטחוניים; סוקר את מצב הפיתוח והשימוש בטכנולוגיה במדינות מובילות בעולם ואת ההשפעות הנוכחיות והעתידיות שלה על הזירה הבינלאומית, ובתוכן "מרוץ חימוש"; סוקר ומנתח את המצב בתחום בישראל כמו גם את האתגרים הרבים בפיתוח, בהטמעה ובשימוש, וכן בתחום הביטחון והמדיניות. על בסיס כל אלו ניתנות המלצות למדיניות בתחומי המחקר ופיתוח, התקצוב והתשתיות, משאבי אנוש, החקיקה, התקינה, המוסר ועוד.

מן המחקר שמסקנותיו מתוארות במזכר זה עולה כי ישראל נדרשת כיום לגבש מדיניות בתחום הבינה המלאכותית על מנת לגרוף הישגים משמעותיים בתחום, ולא להשאיר שדה טכנולוגי חשוב כל כך ורווי אתגרים לפעילותם של כוחות השוק בלבד. טיפול בנושאים המוצגים במזכר עשוי לחולל השפעה מכרעת על עוצמתה העתידית של ישראל, בכלל זאת על כלכלתה ועל יכולתה לשמר ולשפר את הביטחון הלאומי שלה.

ד"ר לירן ענתבי היא עמיתת מחקר ומנהלת תוכנית טכנולוגיות מתקדמות וביטחון לאומי במכון למחקרי ביטחון לאומי. תחומי המחקר העיקריים שלה הם: חיזוי טכנולוגי ומדיניות, השפעות הטכנולוגיה על הביטחון; השפעת טכנולוגיות מתקדמות על מדיניות של מדינות, חברות וארגונים, ועל עוצמתה ועתידה של המלחמה; טכנולוגיה צבאית כגון מל"טים, רובוטים ובינה מלאכותית והשלכות השימוש בה. בעבר כיהנה מספר שנים כחברה ב־iPRAW – הפאנל הבינלאומי לרגולציה של מערכות נשק אוטונומיות. ד"ר ענתבי מרצה באוניברסיטת בן-גוריון – בתוכנית האקדמית של בית הספר לטיסה של חיל האוויר, ובמרכז הבינתחומי הרצליה (IDC) בתוכנית המצטיינים של בית הספר לממשל; היא גם חוקרת ומייעצת באופן פרטי לגורמים שונים בארץ ובעולם ובתוכם גופי ביטחון, יחידות צבאיות, חברות מסחריות והאו"ם.