

אסטרטגיה בעידן הבינה המלאכותית

תהליך תכנון אסטרטגי למגמות טכנולוגיות משבשות

דוד שורש¹

כיצד אנחנו מתייחסים לטכנולוגיות חדשות? איך אנחנו בוחנים את ערכן? ומהי התפיסה שאנחנו יוצרים להגשמת הפוטנציאל שלהן? שאלות אלו הן קריטיות בתהליך תכנון אסטרטגי טכנולוגי. לטענת כותב המאמר, המסגרות הביטחוניות והלאומיות אינן ערוכות לגשר בין הטכנולוגיה לאסטרטגיה הקיימת, ויש פער בין ההתלהבות מהטכנולוגיה לבין הבנה עמוקה של משמעויותיה. מטרת המאמר היא להתוות מתודולוגיה לתכנון אסטרטגי טכנולוגי ולהמחישה ביחס לבינה המלאכותית כמקרה בוחן, מתוך הבנה שלמהירות הלמידה משמעות מכרעת למאזן הכוחות. המאמר שואף לייצר כיווני בניין כוח ומדיניות ברמה המערכתית, ולפתח את הידע בתחומי הטכנולוגיה, האסטרטגיה ובניין הכוח. המאמר דן בתוחלת ביצועי הטכנולוגיה, בתועלות שבאפשרותה לקדם, בהקשרי יישומה, בסיכונים הנובעים מהפעלתה ובחסמים העומדים בפני הטמעתה.

"השולט בבינה המלאכותית ישלט בעולם"
ולדימיר פוטין

"הסימן האמיתי של בינה אינו ידע אלא דמיון"
אלברט איינשטיין

מבוא

הבינה המלאכותית, בשילוב מגמות רחבות של רישות, מיכון ודיגיטציה, מעוררת לאחרונה לא מעט התרגשות. חזונות של אוטופיה/דיסטופיה טכנולוגית, שבה כל תהליך עובר אוטומציה ואופטימיזציה, מציתים את הדמיון. תחבורה אוטונומית, ערים חכמות, מפעלים ללא פועלים וחטיבות רובוטים לוחמים, הם כבר מנת שיח הרבים. מקבלי החלטות ודאי מגרדים את הראש: האם יש כאן הזדמנות גדולה או שמא מקסם שווא טכנולוגי? איזה

¹ רס"ן דוד שורש משרת כראש תחום התכנון האסטרטגי במערך הסייבר הלאומי. המחבר מבקש להודות להערותיהם המחכימות ולעידודם של פרופ' אביתר מתניה, ד"ר דגנית פייקובסקי, אל"ם אלון פז, אל"ם ניר ינאי, ניסים חניה, סם ברונפלד וסרן אור גליק.

ערך משרתת הטכנולוגיה? ואיזו תפיסה תמנף אותה באופן מְטָבִי? האם התהליכים בגופי הפיתוח ידאגו לכל הנדרש, או שמא מתבקשת התערבות ניהולית כלשהי? האם יש סיכונים ואיך נכון להיערך אליהם? ואיזה גוף או תהליך מוסדי יספק תשובות לכל אלו? אם כן, התחושה ביחס לבינה מלאכותית היא שאנו בשלב דיסוננס בין הציפיות המתעוררות מיישומיה הראשונים לבין חוסר ההבנה של המשמעויות ומלוא הפוטנציאל שלה. בתקופתנו, אין זה ייחודי לבינה מלאכותית; זהו המצב ביחס לשורה של טכנולוגיות משבשות, המשקפות שינוי אסטרטגי בביטחון הלאומי. למרות זאת, המסגרות הביטחוניות והלאומיות אינן ערוכות לגשר בין הטכנולוגיה והאסטרטגיה² ולסגור את הדיסוננס הנ"ל באופן יעיל. קיים צורך אקוטי לבנות תפיסה ומנגנון חדשים כדי להאיץ תהליך זה.

מטרת המאמר היא להתוות מתודולוגיה לתכנון אסטרטגי-טכנולוגי, ולהמחישה ביחס לבינה מלאכותית כמקרה בוחן. המתודולוגיה דנה בתוחלת ביצועי הטכנולוגיה, בתועלות שהיא תוכל לקדם, בהקשרי יישומה, בסיכונים הנובעים מהפעלתה ובחסמים בפני הטמעתה. תוצר המתודולוגיה הוא יצירת כיווני בניין כוח ומדיניות ברמה המערכתית. בהקשר הבינה המלאכותית, יוביל הניתוח לכמה המלצות מרכזיות:

א. שקילת הקמת חיל מקצועי חדש להכשרה ולהכוונה של קציני דָאָטָה שיקדמו תהליכים "חכמים" ביחידות תוך השקעה בתשתיות מאפשרות של מחשוב-על ושל שרתי-עתק.

ב. הקמת מעבדת קרב מערכתית בעלת ממשק למתורגלים בוטים (bots), אנושיים והרכבים מעורבים, לשם קידום חדשנות צבאית נתמכת-תוכנה, ולשם למידה על אודות דינמיקות לחימה המשלבות מפעילים וכלים "חכמים".

ג. פיתוח תפיסות תחומיות ללוחמת אש, סייבר ותודעה המבוססות על בינה מלאכותית, תוך מתן מענה גם לחוסן המערכות מפני הטיות מכוונות ובלתי-מכוונות. בסיכום הדברים, נציע מנגנון ממוסד לקידום סוג החשיבה והתכנון הנדרשים ביחס לטכנולוגיות משבשות בכלל.

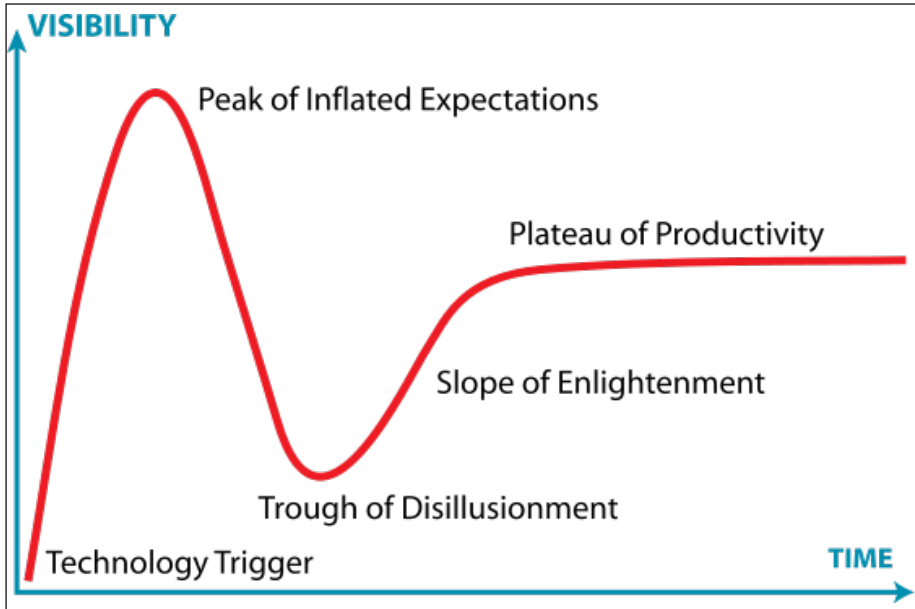
אסטרטגיה וטכנולוגיה - רקע תפיסתי

פריצות דרך טכנולוגיות גדולות כמעט תמיד פותחות פער בין הפוטנציאל לבין המוכנות התפיסית. אר־אז מתחילה תחרות לזיהוי ראשון של התועלות הערכיות ביותר ושל הדרכים לממשן. כפי שמתואר בעקומת ה"הייפ" של חברת גרטנר, המשרטטת את שינוי הציפיות מטכנולוגיה נתונה לאורך זמן (ראה להלן), דינמיקת הלמידה בדרך כלל מפותלת. ניתן לתמצת את הקושי במימרת העתידן רועי עמרה: "אנו נוטים להערכת-יתר של טכנולוגיה חדשה בטווח הקצר, ולהערכת-חסר שלה בטווח הרחוק".³

² ראה: C.P. Snow, *The Two Cultures and the Scientific Revolution*, (Cambridge University Press, 1959).

³ ראה: Rodney Brooks, "The Seven Deadly Sins of AI Predictions", *MIT Technology Review* (October 6, 2017).

בתחום הביטחוני, האסטרטג הבריטי ריצ'ארד סימפקיין מצא שקיים פער זמנים של עשורים בין הנבטת טכנולוגיית אמל"ח חדשה לבין הבנת ערכה, גיבוש הדוקטרינה להפעלתה וההצטיידות בה במסה קריטית.⁴ למותר לציין כי עשרות שנים משקפות מעגל למידה איטי מדי, שאינו מותאם לקצב השינויים של היום.



תמונה 30: עקומת ה"הייפ" של חברת גרטנר, המתארת את התהליך המפותל ללמידת השפעותיה של טכנולוגיה חדשה. (Jeremy Kemp at English Wikipedia)

ללמידה טכנו-אסטרטגית איטית עלולות להיות תוצאות הרות אסון. כך, למשל, הגנרלים במלחמת העולם הראשונה לא הבינו שהמקלע האוטומטי שינה את היכולת לממש אסטרטגיה של הסתערות חי"ר במישור. כמו כן, כאשר צד אחד מזהה ראשון את הפוטנציאל, יכולה להיות לכך משמעות מכרעת למאזן הכוחות. למשל, ערב מלחמת העולם השנייה, טכנולוגיות התעופה, השריון והרדיו היו זמינות לכל המעצמות, אבל רק הגרמנים פיתחו את שיטת ה"בליצקריג".

לעיתים, מעצמות יריבות למדו בזמנית את המשמעויות האסטרטגיות של הטכנולוגיה החדשה והצליחו לייצר שיווי משקל חדש ללא קרב. במלחמה הקרה, הנשק הגרעיני בשילוב טילים בין-יבשתיים, שינה סדרי עולם באסטרטגיה. בתחילה נותרו מקבלי ההחלטות במצב המסוכן של היעדר מסגרת תפיסתית רלוונטית ביחס לנשק ההרסני ביותר שהומצא מעולם. רק שנים לאחר מכן החלו להופיע הספרים הראשונים שסיפקו התמודדות אינטלקטואלית רצינית עם המציאות החדשה, דוגמת "אסטרטגיה

Richard Simpkin, *Race to the Swift - Thoughts on 21st Century Warfare* (B.T. Batsford, 1994).

בעידן הטילים" של ברנרד ברודי. הוא פורסם בשנת 1959,⁵ אחרי מלחמת קוריאה ושנים ספורות לפני משבר הטילים בקובה.

התקופה הנוכחית עומדת בסימן מהפכה טכנולוגית בקנה מידה היסטורי, המכונה לעיתים "מהפכה תעשייתית רביעית". זאת על רקע הבשלת קבוצת טכנולוגיות משבשות הכוללת בינה מלאכותית, האינטרנט של הדברים, רובוטיקה, חומרים מתקדמים, הדפסת תלת־מימד, ביולוגיה סינתטית ואנרגיה מתחדשת.⁶ כידוע, מביאות מהפכות תעשייתיות לשינויים עמוקים לא רק בחברה ובכלכלה אלא גם בביטחון ובאופי המלחמה. השאלה המתבקשת היא, מה יהיה גורלם של המתכננים האסטרטגיים במהפכה התעשייתית הרביעית? האם ילכו בדרכם של המתכננים האסטרטגיים ממלחמת העולם הראשונה, השנייה או מהמלחמה הקרה?

בישראל חסרים ארגון ותהליכים שישלבו בין המגמות הטכנולוגיות והאסטרטגיות, כדי להתמודד עם האתגר הנ"ל. הספר "אסטרטגיה של הטכנולוגיה" מאת סטפאן פוסוני וג'רי פורנל, ניסה למלא חסר דומה בארה"ב במלחמה הקרה, והיה אז קריאת חובה במכללות הצבאיות.⁷ בספר ישנה אנלוגיה בין התפתחות טכנולוגית לנהר מים. לפי המשל, אין למדינה אופציה לעצור את הזרימה, המדינה יכולה לבחור להתיישב על החוף ולהביט ביריביה חולפים על פניה ועוקפים אותה במהירות. החלופה היחידה היא לנסות לשוט ולנווט בתוך הזרימה, בתקווה לנצח את היריבים בתחרות.

אם ניקח את המשל צעד נוסף ונתאימו לימינו, הרי שעוצמת השטף גברה מאוד, מה שמאפשר לנו לרכוב על גלים גבוהים, אך גם להתרסק ולטבוע במעמקים. בעוצמת הזרימה של ימינו, נדרש לקבל החלטות גורליות בקצב מואץ. לפי פוסוני ופורנל, ניתן להעלות את סיכויי ההצלחה בניווט הנהר הטכנולוגי על ידי כינון תהליכים לאומיים המשלבים בין גופים והתמחויות באסטרטגיה ובטכנולוגיה, תשומות של אנשי מודיעין, מבצעים, משאבים ומנהיגות פוליטית. בישראל של 2018 קיים צורך בגיבוש מנגנון כזה.

מתודולוגיה מוצעת

באופן בסיסי, המתודולוגיה צריכה לכוון לפיתוח ידע בשלושה תחומים. התחום הראשון הוא ידע על הטכנולוגיה - מהם מנועי הצמיחה שלה? אלו צווארי בקבוק יעכבו את המשך פיתוחה? אלו פונקציות היא תוכל לבצע? אלו תקרות יגבילו את תפוקותיה? התחום השני הוא ידע אסטרטגי - כיצד נכון למפות את תועלות הטכנולוגיה? אלו מהן משקפת יתרון יחסי? באלו הקשרים ביטחוניים היא תוכל להשתלב? לטובת העניין נציע להשתמש בנרטיבים שסיבירו לשם מה וכיצד ניתן להפעיל את הטכנולוגיה המנותחת. כמו

⁵ ראה: Bernard Brodie, *Strategy in the Missile Age* (republished by RAND Corp., 2007). למרות ההשראה שסיפק הספר לכותרת מאמר זה, אין במאמר זה שום יומרה לעמוד בהישג דומה לזה של ברודי.

⁶ K. Schwab, *The Fourth Industrial Revolution* (Currency, 2017).

⁷ ראה: Stephen Possony and J.E. Pournelle, *Strategy of Technology* (University Press of Cambridge, 1970). פורסם שוב על ידי המחבר בשנת 1997, באתר: <https://www.jerrypournelle.com/> [נבדק פעם אחרונה ב-18 באוגוסט 2017].

כן, נדרש לנתח את הסיכונים הנובעים מהיכולות החדשות. התחום השלישי הוא ידע על בניין הכוח - מה נדרש כדי להטמיע את היכולות החדשות? אלו חסמים עומדים בפני מימושן: תקציב, כוח אדם, ארגון, תשתית, תפיסה? זהו השלב לגזירת כיווני בניין הכוח המומלצים.

סדר הניתוח תלוי בצורך; ניתן להתחיל מנקודת מוצא של פער באסטרטגיה, וממנה לסרוק את אופק הטכנולוגיות הרלוונטיות אליו. עם זאת, כאשר קיימת טכנולוגיה יסודית חדשה שצפויה להשפיע לרוחב על תחומים רבים, ניתן להתחיל ממנה ולבחון את ההשפעות האסטרטגיות הצפויות. בבואנו לנתח את תחום הבינה המלאכותית, נעשה זאת בדרך השנייה.

שלב א' - הבנת הטכנולוגיה: מנועי צמיחה ותקרות ביצועים

מנועי צמיחה

ההגדרה השלמה של בינה מלאכותית היא חמקמקה. לענייננו, די לומר שזו משפחה של שיטות אלגוריתמיות לביצוע פונקציות קוגניטיביות (אנושיות או על-אנושיות). בתהליכים הקוגניטיביים שכבר מוחשבו נכללים:

- א. זיהוי ותיגוג של עצמים מורכבים (למשל, לטובת אבחון רפואי או סינון ספאם);
- ב. חיזוי התנהגויות על פי העבר תוך למידה מתמדת (כמו בפרסום מותאם אישי);
- ג. הפקת משמעותיות או זיהוי אנומליות מתוך ערימת נתונים לא סדורה (למשל לזיהוי הונאה בעסקאות אשראי);
- ד. ממשקים למשתמש בשפה טבעית (כמו עוזרים וירטואליים);
- ה. תכנון מהלכים במערכת דינמית (כמו מציאת המסלול הקצר בדרך);
- ו. הנעת כלים המגיבים למצבים מתפתחים (כמו רכב אוטונומי);
- ז. הצעת עיצובים מקוריים (אומנותיים או פונקציונאליים).

בינה מלאכותית מתאפשרת בשלושה מנועים: כוח מחשוב, דאטה ואלגוריתמיקה. המנוע הראשון הוא כוח מחשוב - יישומי בינה מלאכותית דורשים כוח מחשוב רב. זו אחת הסיבות לכך שפריצות הדרך בתחום זה חלו דווקא בתחילת שנות האלפיים, אחרי ש"חוק מור" (שלפיו כוח המחשוב מכפיל את עצמו כל כשנתיים) הגיע למסה קריטית. אך נראה שישנה תקרה להמשך חוק מור,⁸ והרי מגבלות בכוח המחשוב עלולות לעכב משמעותית את התפתחות הבינה המלאכותית.⁹ עם זאת, קיימות כמה דרכי מוצא מבעיה זו; ניתן לנהל באופן יעיל יותר משאבי מחשוב (כמו במחשוב ענן) וליצור מעבדים שמתאמים לתהליכי בינה מלאכותית ברמת החומרה. נוסף על כך, ניתן להבשיל צורות מחשוב חדשות ופורצות דרך, כמו מחשוב קוונטי.¹⁰

⁸ Tim Cross, "After Moore's Law", *Economist* (2017).

⁹ לדעה אחרת ראה: Filip Pieniewski, The AI Winter is Well on its Way (Venture Beat, June 4, 2018).

¹⁰ להרחבה ראו, למשל, Philip Ball, "The Era of Quantum Computing is Here. Outlook: Cloudy", *Quanta Magazine* (January 24, 2018).

המנוע השני הוא דאטה (מאגרי נתונים) - מאגרים אלו משמשים ל"אימון" תוכנות הבינה המלאכותית ("Training Data"). אם חסר בסיס נתונים מספק ואמין בתחום כלשהו, לא ניתן לפתח בעבורו פתרון מבוסס בינה מלאכותית, ואילו נתוני-עתק מאפשרים ייצור יישומי בינה מלאכותית ברמת איכות גבוהה. בעבר היווה תנאי זה מכשול אמיתי. עם זאת, בעידן האינטרנט הוסרה תקרה זו בתחומים רבים, ונראה כי היא תלך ותוסר בתחומים נוספים. זאת בזכות סנסורים ממגוון מכשירים במרחב הציבורי ובמרחב הפרטי, האזרחי והצבאי, המייצרים כמויות בלתי נדלות של דאטה.

המנוע השלישי, אלגוריתמיקה משוכללת, הוא מנוע שקשה להעריך את מגמתו. ההשקעה במפתחים מוכשרים האמירה שחקים בשנים האחרונות מצד ממשלות ותאגידי ענק; בד בבד, גידול בהיקף חברות ההזנק,¹¹ שימוש בקוד פתוח (כמו "openai.com") ותחרויות שונות, מעודדים חדשנות בתחום.

מעבר למשאבים ולאווירת החדשנות, מתפתחים גם מקורות ההשראה. טכנולוגיות דימות חדשות למוח פתחו צוהר בשנים האחרונות לחידושים בנוירולוגיה, אשר עשויים לספק למפתחי הבינה המלאכותית מודלים לחיקוי. אם כי לא בטוח שכדאי להעתיק מהמוח האנושי כדי להצליח בעיצוב אלגוריתמיקות בינה מלאכותית. באנלוגיה: המטוס אינו מחקה לגמרי את נפנוף הכנפיים של הציפורים, כיוון שהכנפיים שלו מקובעות. עם זאת, עצם הרעיון של כנפיים בא מהציפורים. הטבע מספק השראה לטכנולוגיה, גם אם הוא לא מהווה שרטוט מדויק שלה. כך גם החידושים במדעי המוח יספקו השראה לאלגוריתמיקה (ואולי גם להיפך).

תקרות ביצועים

רמות הביצועים שאפשר להשיג ומרחב היישומים האפשרי לבינה מלאכותית אינם ידועים, אך ניתן לציין כמה מגבלות מסתמנות. ראשית, הבינה המלאכותית של היום מוגבלת ליישומים מוגדרים וצרים, אף אם הלמידה בהם עמוקה. למשל, תוכנת בינה מלאכותית שיכולה לשחק משחק אחד, אינה מסוגלת להתאים את עצמה לשינוי הכללים או למשחק אחר. כיום לא נראית באופק בינה מלאכותית שמסוגלת ללמוד באופן רחבי.

שנית, הקוגניציה עצמה עדיין אינה מובנת לגמרי. מוסכם שאין סוג אחד של חוכמה, אלא מגוון. בניית הבינה המלאכותית היום מכוונת להצטיינותה בסוגי קוגניציה מסוימים, אך לא באחרים. כך, ניתן לשער כי חוכמה רגשית, חוכמת "רחוב", חוש הומור, הבנת הקשר וניואנס, קליטת רמזים עדינים "בין השורות" והפעלת "שכל ישר" - לא יעברו אוטומציה בקרוב.

שלישית, אפילו בינה מלאכותית מתקדמת ביותר לא תהווה פתרון במצבי חוסר ודאות קיצוניים. מערכות כאוטיות, המתאפיינות ברגישות גבוהה לשינויים קטנים ("אפקט הפרפר"), הוכחו מתמטית כבלתי ניתנות לחיזוי בטווחים משמעותיים, אפילו אם יהיו

¹¹ ראה, למשל, לגבי המצב בארץ: Daniel Singer, "Israel's Artificial Intelligence Startups", *LinkedIn* (September 7, 2017).

נתונים רבים ומדויקים מאוד. מהסיבות הללו, בינה מלאכותית לא צפויה להחליף אנשים בחשיבה "אסטרטגית", למשל. חשיבה זו נדרשת לשלב ממדי רוחב (מדיני, ביטחוני, כלכלי, חברתי וכו'), להבנה רגשית (רוח לחימה, לגיטימציה והרתעה) ולהתנהלות ב"ערפל קרב" (כאוס). אמנם, מרבית החוקרים מאמינים שבעתיד תבשיל הבינה המלאכותית ה"כללית", ותהפוך להיות קרובה יותר לחוכמת בני האדם ואף למעלה ממנה ("סופר-אינטליגנציה").¹² עם זאת, אפילו עצם המבחן לבינה המלאכותית הכללית משתנה עם הזמן. אלן טיורינג הציע את המבחן שלפיו אם אדם לא יוכל להבדיל בין ברשיח אנושי לבין מחשב במהלך תקשורת טקסטואלית, סימן שאותו מחשב הינו בעל בינה מלאכותית "כללית". כיום, ישנם צ'ט-בוטים שעוברים את מבחן טיורינג באחוזים נאותים של האוכלוסייה, אך איש אינו מייחס להם תבונה כללית. "מבחן וינוגרד" העדכני מבוסס על היכולת למקם משפטים בעלי משמעות כפולה בהקשר הנכון.¹³ אין לתמוה אם גם מבחן זה יוחלף בעתיד. נדמה כי נדרשת קפיצה בהבנת טיב הקוגניציה כדי לאפשר דיון מושכל בהשלכות של בינה מלאכותית "כללית".



תמונה 31: שימוש מעשי במבחן טיורינג – אתרי אינטרנט המעוניינים לוודא שהמשתמש הוא אנושי ולא בוט, נותנים למשתמש מעין מבחן טיורינג שבו הוא נדרש להקליד טקסט קצר בגופן משובש בשדה המתאים. אדם יעבור את המבחן בקלות, אך בוט יתקשה בו. מרבית החוקרים מאמינים שבעתיד תהפוך הבינה המלאכותית להיות קרובה יותר לחוכמת בני האדם. (Doronef, ויקיפדיה)

¹² להרחבה מלומדת מאוד על הסיכונים הטמונים ב"פצצת אינטליגנציה", ראה: Nick Bostrom, *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies* (Oxford University Press, 2014).

¹³ Evan Ackerman, "Can Winograd Schemas Replace Turing Test for Defining Human-level AI", *IEEE Spectrum* (July 29, 2014).

בשורה התחתונה, נכון להתייחס לבניה מלאכותית "כללית" או "בינת-על" כטכנולוגיה נפרדת, שאינה בשלה, הראויה לניתוח נפרד. בינתיים יש להתייחס לסוגי הבינה המלאכותית הקיימים והמתפתחים בפועל.

שלב ב': אסטרטגיה - תועלות, הקשרים וסיכונים

זיהוי תועלות

בשלב זה של הניתוח נתמקד ב"לשם מה?". המשימה היא להציע תועלות עקרוניות (Value Propositions) שעשויות להתממש מהטמעה רחבה של הטכנולוגיה, להבדיל מיישומים פרטניים.

נציע שלוש תועלות מובילות אפשריות לבניה המלאכותית:

- א. אוטונומיה - הנעת כלים עצמאיים המגיבים לגירויים מתוך שיקול דעת.
- ב. "ניהול חכם" - טיוב החלטות במגוון מערכות מורכבות ודינמיות, דרך חיזוי ואופטימיזציה.
- ג. האצת חדשנות - בינה מלאכותית ככלי עזר לחיפוש ולהנבטת פתרונות מקוריים.

אוטונומיה

עד כה ידעו המכונות להחליף את בני האדם בפעולות מוגדרות וחזרתיות. כעת, בינה מלאכותית יכולה לאפשר את החלפת בני האדם בפעולות נוספות, המצריכות מידה מסוימת של שיקול דעת. כמו כן, ישנה תקווה שהפעולות ישתפרו עם הזמן על ידי למידה ממשוב (Reinforcement Learning).

מבחינת התועלות החברתיות, מערכות אוטונומיות תשחררנה את האדם מתפקידים בלתי רצויים כמו עבודות כפיים. מבחינה כלכלית, אוטונומיה עשויה להגדיל תפוקות (כי רובוטים לא מתעייפים) ולהוזיל עלויות (כי לרובוטים לא מגיע שכר). בתחום הבטיחות, האוטונומיה תוכל להחליף אנשים בעבודות מסוכנות ולחסוך בחיי אדם. אך אם נדייק, תועלת זו ניתנת למימוש בהפעלת כלים מרחוק בידי אדם, ולא דווקא דרך אוטונומיה.

עם זאת, יש סיבה לחשוב שתפקודים מוטוריים בסביבה הפיזית אינם יתרון יחסי של תוכנות בינה מלאכותית. לפי "פרדוקס מוראבק"¹⁴, בעוד שתפקודים "גבוהים" (אנליטיים מופשטים) הם קשים לבני אדם וקלים למחשב (כמו ניצחון בשחמט), הרי תפקודים מוטוריים "נמוכים" הם קלים אפילו לילדים אך קשים במיוחד למחשב (כמו להזיז כלי שחמט).¹⁵ פרדוקס מוראבק מרמז שמיקוד בתועלת האוטונומיה עלול להתברר כהשקעה גדולה בעבור תמורה נמוכה, ביחס לתועלות מוצעות אחרות של בינה מלאכותית.

מעבר לכך, יצוין שהאוטונומיה אינה תפיסה מחדשת. למעשה, היא מגלמת תפיסה

¹⁴ Hans Moravec, *Mind Children* (Harvard University Press, 1988).

¹⁵ Garry Kasparov, *Deep Thinking - Where Machine Intelligence Ends and Human Creativity Begins* (John Murray Publishers, 2017).

זהה לזו של המהפכה התעשייתית הקודמת: כל שהשתנה הוא היקף התפקידים שניתנים למיכון. אמנם גם רעיונות ישנים עשויים להועיל, אך היעדר החידוש התפיסתי מהווה סימן לכך שאין זה הערך המשבש ביותר.

"ניהול חכם"

בשנת 2016 הצליחה חברת גוגל לחתוך כ-40% מצריכת החשמל במנגנוני הקירור של מרכזי הדאטה הענקיים שלה. בהתחלה, ניסתה גוגל לצמצם את הוצאת האנרגיה באופן ידני. בשלב מסוים החליטו בגוגל לעשות ניסוי ולהעביר את עבודת ויסות מערכות הקירור לתוכנת "Deepmind". התקווה הייתה לסחוט בעזרת התוכנה עוד אחוזים בודדים של חיסכון. איש לא ציפה לצניחה החדה ב-40% מהעלות.¹⁶

יש בדוגמה זו לפחות שני לקחים. האחד הוא עוצמת פוטנציאל ההתייעלות הטמון ב"ניהול חכם" של מערכות מורכבות ודינמיות. השני מתייחס להפתעה שהייתה למהנדסי גוגל - העובדה שהצוות לא ציפה אלא לשיפורים שוליים, מעיד על מיעוט ההבנה של בני אדם במערכות מורכבות ודינמיות.

מלבד התייעלות, כלי ניהול חכמים עשויים למנוע כשלים מערכתיים (משברים פיננסיים, התפרצות אפידמיה או שיבושי תנועה בכבישים). הקושי לראות את הנולד במערכות כאלו טמון בכך שהסימנים המוקדמים חבויים בסבך של נתונים. לכאורה, ניתן יהיה למנוע משברים ולייעל את תפקודה הכולל של המערכת על ידי שיפור הבנתה. המשמעות לכך עשויה להיות דרמטית לא רק למערכות מסוימות, אלא לתפקוד הכולל של מדינות, במיוחד אלה המצויות בתחרות אסטרטגית.

אין מדינה שמותחת אפשרות זו לקצה יותר מסין.¹⁷ למשל, על פי מיזם ה-"Social Credit" שהשיקה, מתכוונת סין לאסוף נתוני זמן אמת מקיפים על כלל תושביה במטרה ליצור ציון אישי שיקבע את זכויותיהם לשירותים ציבוריים.¹⁸ הסינים מקווים שדירוג כללי של החברה ושל המשילות יביאו לניהול אופטימאלי של כלל המערכות המורכבות והדינמיות במדינה. תהיה זו מעבדת ניסוי אנושית מהגדולות בהיסטוריה.

נדמה כי במערב לא יתאפשר יישום כה מקיף של תהליכים חכמים, בשל הזכות לפרטיות וההגבלים העסקיים. עם זאת, במערכת הביטחון צפויים להיות פחות חסמים ליישום מסוג זה. בעיני המערב, מונופול בהקשר של כוח צבאי הוא דבר חיובי דווקא. נוסף על כך, זכויות חוקתיות, כמו פרטיות, אינן מוקנות לזרים, מה שמקל על איסוף מודיעין רחב מחוץ לגבולות המדינה.

¹⁶ ראה: Richard Evans and Jim Gao, "DeepMind AI Reduces Google Data Center Cooling Bill by 40%", *Deepmind* (July 20, 2016), <https://deepmind.com/blog/deepmind-ai-reduces-google-data-centre-cooling-bill-40> [accessed: May 2018].

¹⁷ ראה, למשל, Mara Hvistendal, "Inside China's Vast New Experiment in Social Ranking", *Wired*, (December 14, 2017).

¹⁸ ראה, למשל, James Miles (ed.), *The Surveillance State: Perfected in China, a Threat in the West*, (The Economist, June 2, 2018).

האצת חדשנות

חדשנות בקרב אנשים, תאגידיים ומדינות הפכה בשנים האחרונות לתכונה מבוקשת, ואף חיונית להבטחת תחרותיות.¹⁹ שלב קריטי בכל תהליך חדשנות הוא ההנבטה (ideation) שבו נוצר רעיון חדש. במובן מסוים, מציאת רעיון חדש עניינה חיפוש "בשדה עיוורון". שדות עיוורון נובעים מאינטואיציה אנושית, אשר מסננת באופן טבעי פרטים רבים ואפשרויות רבות כדי לאפשר מיקוד ולמנוע "רעשי רקע" מיותרים במוח האדם. בדרך, מסוננים גם מרחבים שבהם חבויים רעיונות אנטי־אינטואיטיביים. המונח הפסיכולוגי לכך הינו "הטיה קוגניטיבית".²⁰ האינטואיציה עלולה להיות אויב ההנבטה, והחדשן נדרש למצוא דרכים להתגבר עליה.

שלב נוסף בתהליך החדשנות מתייחס לניסוי הרעיון החדש. זהו שלב מסוכן שבו נדרש להשקיע ברעיון שעלול להיכשל. מסיבה זו, סיבולת לסיכונים היא תכונה חשובה בעבור גופים חדשניים. עם זאת, גופים שמבקשים לחדש באופן שיטתי, צריכים להוזיל את עלויות הניסויים, למשל, באמצעות עריכת סימולציות.

לטענתנו, בינה מלאכותית מאפשרת את חיזוק מרכיבי ההנבטה והניסוי בתהליכי החדשנות, וייתכן שזוהי התועלת המשבשת ביותר שלה. למשל, אחד האלגוריתמים הפחות מוזכרים במשפחת הבינה המלאכותית מכונה "חיפוש אבולוציוני". בשיטה זו, המחשב



תמונה 32: זוג קוריאני בלבוש מסורתי משחק "גו", בתמונה מראשית המאה ה־20. בעזרת בינה מלאכותית, תוכנת "אלפא־גו" מצאה טקטיקות חדשניות שאלפי שנות משחק אנושיות לא גילו.

¹⁹ ראה: Clayton Christensen, *The Innovator's Dilemma* (Harvard Business Review Press, 1997).

²⁰ ראה: Daniel Kahneman, *Thinking, Fast and Slow* (Farrar, Straus and Giroux, 2011).

מייצר אפשרויות רנדומליות רבות של תוצר כלשהו, התוצאות נבדקות מול קריטריונים מסוימים. הדגמים שמקבלים ציון נמוך נמחקים, והדגמים המוצלחים "שורדים" ומהווים בסיס למוטציות רנדומליות נוספות, וחוזר חלילה. שיטה זו נוסתה, למשל, בעיצוב שבבים ואנטנות,²¹ ונמצא שהתוכנה הצליחה להנביט עיצובים אנטי-אינטואיטיביים בעליל, המוצלחים מרוב החלופות שנוצרו בידי אדם. שיטות אחרות של למידת מכונה, סייעו להמציא תרופות ולזהות מסגרי מתכות חדשים בעלי תכונות נדירות.

למה הצליחו התוכנות הללו לחדש? כי התוכנות אינן נתונות להטיה קוגניטיבית אנושית. עקביות המחשב מאפשרת חיפוש באיטרציות מרובות בשדות אשר מסוננים על ידי האינטואיציה של בני האדם. בדוגמאות הנ"ל, תבחיני האיכות היו סטטיים (יעילות, גודל וכו'), אך מה לגבי תנאים שבהם ההצלחה תלויה בתגובות דינמיות מבחון? אחד היישומים המסעירים ביותר של הבינה המלאכותית לאחרונה היה התוכנה "אלפא-גו". תוכנה זו הצליחה להביס באופן שיטתי את אלוף העולם במשחק הסיני העתיק "גו". שיטת התוכנה הייתה רשת נוירונית עמוקה, אשר התאמנה במיליוני משחקים עם עצמה. "שדה החיפוש" לטקטיקות היה משוחרר מכבלי האינטואיציה האנושית, וכך נמצאו טקטיקות חדשניות שאלפי שנות משחק אנושיות לא גילו.

הניצחון במשחקים, במובן זה, אינו רק עניין של טיוב המהלכים, אלא גם של זיהוי שיטות חדשניות בתנאים דינמיים. יוצא כי סוגי בינה מלאכותית יכולים להביא לחדשנות גם בעיצוב מוצרים, בשיטות ובתהליכים, ואולי אף בשילובים ביניהם. הגברת החדשנות במגוון הקשרים ומגזרים, עשויה להביא לפריצות דרך מערכתיות.

הקשר האסטרטגי

הטכנולוגיה לא נולדת בחלל היסטורי ריק, אלא בהקשר ייחודי. לכן, כדי להבין את הבעיות האסטרטגיות שעימן היא תידרש להתמודד ואת האופן שבו תועלותיה עשויות להתממש, נדרש לנתח את ההקשר העדכני. מוצע לעשות זאת באמצעות נרטיבים. נרטיבים יכולים להוות כלי עוצמתי בתכנון אסטרטגי, אף שהם אינם זוכים לשימוש נפוץ במיוחד.²² לעיתים קשה להגדיר את גבולות הנרטיבים של ביטחון לאומי,²³ עם זאת, במקרה שלנו מדובר בנרטיבים הנוגעים לעוצמה וליתרון על יריבים.

בחרנו להתייחס לשישה נרטיבים אסטרטגיים-ביטחוניים, שבהם עשויות להתבטא תועלות הבינה המלאכותית שזיהינו.

²¹ Gregory S. Hornby, et al., "Automated Antenna Design with Evolutionary Algorithms", *American Institute of Aeronautics and Astronautics* (September 2006).

²² ראה, למשל, Sebastian Backup and Tomas Casas Klett, "Why Today's Leaders Need to Know, about the Power of Narratives", *World Economic Forum* (July 4, 2018)

²³ ראה, למשל, Greg Allen and Taniel Chan, *Artificial Intelligence and National Security* (Belfer Center, July 2017). המחברים עוסקים ביישומים כלכליים יחד עם מבצעיים ותודעתיים, בשם הביטחון הלאומי.

נרטיב "יחסי הזנב והשיניים" – להחזיר איזון משאבי לכוח

משחרר האסטרטגיה, תמיד העיבו ברקע אילוצי המשאבים על היכולת הצבאית.²⁴ מלחמות הוכרעו בשל יכולות המימון, גיוס הלוחמים, כושר הייצור התעשייתי והלוגיסטיקה של אחד הצדדים. מעבר לסיכויי הניצחון בעימות צבאי, מתיחת יתר משאבית היוותה גורם מרכזי לשקיעת מעצמות במרוצת הזמן.²⁵

אם כך, האסטרטגים במערב צריכים להיות מודאגים; צבא וביטחון הפכו להיות יקרים יותר ויותר, בעוד החברה מוכנה לשאת בעלויות פחות ופחות. בקואליציות מערביות כמו נאט"ו, חלוקת הנטל הפכה למוקד פוליטי בין בעלי הברית. תקציבי הביטחון של מדינות המערב יכריעו את מידת הובלת עוצמתן הצבאית בסדר העולמי, אף אם האיומים הישירים עליהן קטנו יחסית. המגמה הכוללת היא של הוצאה ביטחונית מוגבלת שקונה פחות הישגים צבאיים, מבחינת היכולת להטיל מסה בעלת אורך נשימה סביר.²⁶ מצב זה נוצר כתוצאה מכמה מגמות:

- א. מערכות אמל"ח חדשות נוטות לקבל אפיון יתר ומועמסות בטכנולוגיות חדישות אשר מקפיצות את מחיריהן (חוק "אוגוסטין").
- ב. הרצון לצמצם נזק אגבי מהווה סיבה נוספת לעלייה במחיר הביטחון במערב. כתוצאה מכך, מה שכונה פעם "חימושי יוקרה" לפגיעה מדויקת הפך לתקן בסיסי.
- ג. הרגישות לחיילים נפגעים, אשר גרמה להגדלת ההשקעה בהגנת הכוח באופן משמעותי. התוצאה היא ירידה בהיקף המרכיב ההתקפי בסד"כ.
- ד. תפיחת המפקדות ומצבת כוח האדם הינה מגמה נוספת. מאחר שהחוד הלוחם אינו גדל בקצב זהה, נוצר עיוות ביחס "בין הזנב לשיניים" ("Tooth to Tail Ratio") בצבא.

ה. עלויות כוח האדם, הגדלות בשל עלייה ברמת השכר במשק ותוחלת החיים העולה, המכבידים את נטל הפנסיה צבאית.

כשיחד עם מגמות אלו, מסוגל האויב באמצעים פשוטים להשית על המערב עלויות א-סימטריות, משתקפת מגמה מסוכנת. ייתכן שאל-קאעידה היה ארגון טרור קטן וקיקיוני שהובס בקרב חסר תקווה באפגניסטן ובעיראק, לפחות זמנית; אך בדרך הוא הצליח לגבות מארה"ב יותר מטריליון דולר בעלויות מלחמה, ואלפי הרוגים ופצועים. עומס זה הותיר את צלקותיו על החברה האמריקנית ופגע במעמדה בעולם. לא ברור עוד כמה "ניצחונות" כאלו תוכלו אפילו מעצמת-על לשאת.

כמו שראינו בפרק הקודם, ערך האוטונומיה וערך ה"ניהול החכם" יכולים להביא לחיסכון משמעותי במשאבים. הבאנו את הדוגמה של חברת גוגל, שהצליחה להוזיל את חשבון החשמל שלה ב-40%. במציאות המתוארת לעיל, מה היה קורה אם אפשר היה

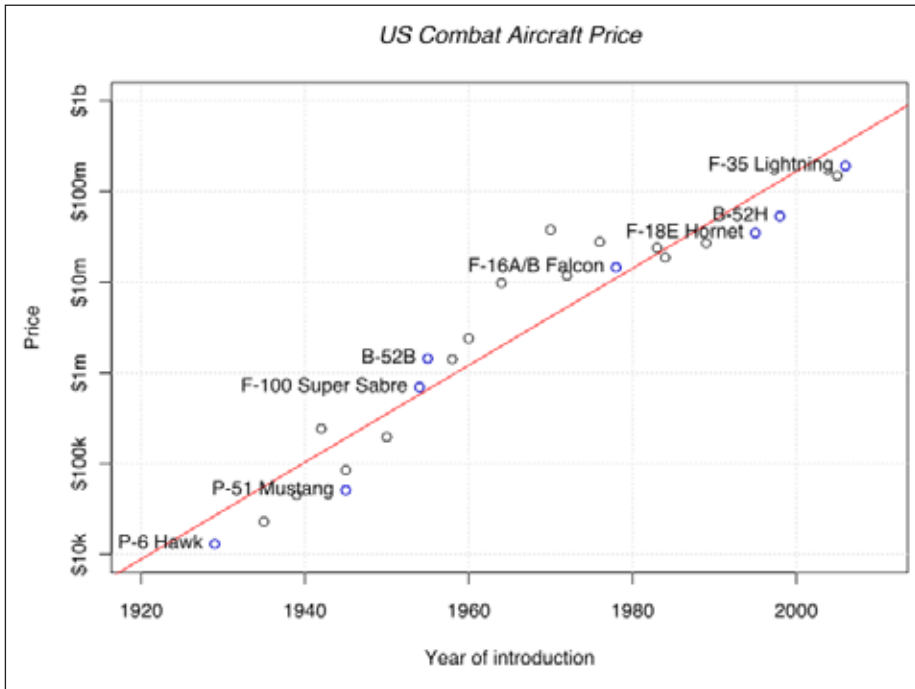
²⁴ ראה, למשל, Bernard Brodie, "Strategy Wears a Dollar Sign", *Strategy in the Missile Age*, (republished by RAND Corp., 2007), p. 358.

²⁵ ראה: Paul Kennedy, *Rise and Fall of the Great Powers* (New York: Random House, 1987).

²⁶ ראה: A. Enthoven and K. Smith, *How Much is Enough? Shaping the Defense Program 1961-1969* (RAND, 2005).

לפנות כ-40% מהמקורות לביטחון במחיידי? דבר כזה יכול להיות חבל הצלה שיאפשר את החזרת המיקוד מה"זנב" ל"שיניים".

הייעול, כמובן, אינו חייב להתבטא דווקא בחשמל, אלא במגוון סוגי משקים. השרשרת הלוגיסטית היא דוגמה טובה. פעמים רבות במלחמה התברר כי מחסור קריטי באמצעי לחימה לא היה תוצאה של העדר מלאי, אלא של מדיניות הקצאה שגויה.²⁷ לפי עוזי עילם, לולא קבלת ההחלטות הקלוקלת של הקצינים הלוגיסטיים במלחמת יום הכיפורים, לא



תמונה 33: החוק ה-16 והמוכר ביותר של אוגוסטין, לפיו בעוד תקציב הביטחון גדל באופן ליניארי, העלות של כל מטוס צבאי חדש גדל באופן מעריכי. בתרשים ניתן לראות את הקפיצה במחיר מטוסי הקרב האמריקאיים לאורך השנים (Autopilot, Wikipedia)

היה צורך אמיתי ברכבת האווירית מארה"ב.²⁸ מסירת הניהול של שרשראות אספקה למערכות אוטונומיות המבצעות הזמנות לפי חיזוי חכם של צרכים, עשויה להביא למיצוי המשאבים ואף לחסוך אילוצים אסטרטגיים.

מרכיב כוח האדם עשוי להיות מקור התייעלות נוסף, הן בשל פוטנציאל האוטומציה של תפקודים אנושיים (לפי מקינזי, פוטנציאל החיסכון הוא עשרות אחוזים),²⁹ והן בשל

²⁷ ראה: מרטין ון קרפלד, *מלחמה ותחזוקה* (הוצאת מערכות, 1983).

²⁸ עוזי עילם, *קשת עילם* (משכל וספרי חמד, 2009), עמ' 223.

²⁹ Michael Chui, James Manyika, and Mehdi Miremadi, "Four Fundamentals of Workplace Automation", *Mckinsey Quarterly* (November 2015).

אמנם אין הסכמה גורפת ביחס להערכות הללו, אך חברת מקינזי רחוקה מלשקף דעת יחיד.

האפשרות לניהול חכם של תהליכי איתור, מיון, פיתוח ושיבוץ לטובת הפרט והמערכת כאחד.³⁰

אפילו משאב הזמן עשוי להיחסך על ידי תהליכים חכמים. ניתן להעלות על הדעת, למשל, מערכת חכמה לניהול כלל לוחות הזמנים במערכת. כמה תהליכי למידה, פרויקטים והחלטות התעכבו בגלל ניהול מסורבל של לו"ז בין גופים? הדוגמה נשמעת אולי פרוזאית, אך לעיתים, שינויים גדולים נובעים מהמקומות הפחות מרגשים. מרכיבים מאיצים בתהליכים אף יכולים להועיל לתחרות הלמידה הכוללת.³¹

ניתן להמשיך ולדון בסוגי משאבים נוספים שעשויים להיחסך, אך מפאת קוצר היריעה, לא נרחיב כאן. ניהול תקציבים, חלוקת הספקטרום האלקטרו־מגנטי ותכנון מסלולי נסיעות, מהווים דוגמאות נוספות לתהליכים צבאיים שבשלים להתייעלות דרך מערכות חכמות. החיסכון במגוון סוגי משאבים בעשרות אחוזים עשוי להיות בעל השפעה מצרפית אסטרטגית לבניין הכוח. אם המשאבים המתפנים יופנו להתעצמות, עשויה הבינה המלאכותית לסמן נקודת מפנה בנרטיב של יחס ה"זנב-שיניים" בצבאות המערב.

נרטיב "מחבואים קטלני" – לצוד את האויב הא־סימטרי

ניתן לטעון כי עניינו של האתגר המבצעי המרכזי בהפעלת הכוח בימינו הוא פגיעה מדויקת, מהירה ורחבה באויב מבוזר, נייד ומתחמק. אתגר זה הינו תוצאה של התנגשות בין שתי פרדיגמות לחימה: מצד אחד, המהפכה בעניינים צבאיים (RMA – Revolution in Military Affairs) בצבאות המערב, המבוססים על מודיעין טכנולוגי, על רשתות תקשורת דיגיטליות ועל אש מונחה ומדויקת. מהצד האחר ניצבים ארגונים "היברידיים", שמתאפיינים בביזור, בהסתתרות ובהיטמעות באוכלוסייה.

צבאות ה־RMA גילו שלא קל כל כך לאתר מטרה ניידת דלת חתימה ולפגוע בה בשניות הבודדות שבהן היא חשופה. גם כאשר היעד ב"אחיהז", היטמעותו באוכלוסייה אזרחית מאלצת קבלת החלטות מורכבות הגורמות לנזק אגבי. כיוון שלא מדובר בדיביזיות מרוכזות אלא בחוליות מבוזרות רבות, נדרש לעבור את הקשיים הללו בתהליך רב־פעמי מתיש. לעיתים קרובות התוצאה הייתה הנחתת מהלומת אש מפתיעה בתחילת המערכה, ואז כניסה מהירה לתפוקה שולית פוחתת.³²

המלחמה במתאר זה הפכה להיות מעין משחק מחבואים קטלני בין "ציידיים"

³⁰ ראה: National Academies of Sciences, Engineering and Medicine, Strengthening Data Science Methods for Department of Defense Personnel and Readiness Missions, (Washington DC: The National Academies Press, 2017).

³¹ על התפקיד האסטרטגי של מימד הזמן, ראה המחשבה של ג'ון בויד: Grant Hammond, *The Mind of War: John Boyd and American Security* (Smithsonian Books, 2001).

³² ראה: מאיר פינקל, "יעילות ונקודת השיא של ההצלחה - האם דפוס הפעולה של מערכה אווירית בפתחת מערכה עבר את נקודת השיא", **בין הקטבים**, 11-12 (יוני 2017).

ו"מתחמקים" (hidiers and seekers).³³ אבולוציה צבאית הדדית זו בין הצדדים אינה מבשרת טובות למערב בשלב זה. הדילמה האסטרטגית האכזרית שנוצרה צריכה להכריע בין המשך ציד סיזיפי מרחוק ללא הכרעה משכנעת, לבין הישאבות אל תוך השטח עם מגפיים בקרקע, על כל האבדות, הנזק האגבי והאחריות האזרחית הכרוכים בכך. אך מה היה קורה אילו אפשר היה לנצח את משחק המחבואים מרחוק? מה אם אפשר היה לפגוע גם במיליציות המבוזרות והניידות ביותר, בשטחים המורכבים ביותר, באופן רחב ובזמן ובמחיר סבירים? האם ליישומי בינה מלאכותית יכול להיות תפקיד בכך? הבעיה כיום אינה היעדר מידע מודיעיני, אלא היכולת למצותו בזמן רלוונטי. הבינה המלאכותית, כאמור, מסוגלת למצוא זיקות, מגמות ואנומליות בין נתונים רבים תוך הצלבת שכבות מידע רבות באופן אוטומטי. בקיצור, בינה מלאכותית מאפשרת למצוא את המחט (ואת המח"ט) בערימת השחת.³⁴ לכן, יישום נכון שלה יכול להעלות את מספר הנפגעים בצד השני, לא רק במהלכי הפתיחה המפתיעים של הקרב, אלא דווקא במטרות הניידות תוך כדי לחימה מתמשכת. יתר על כן, הלחץ העצום בזמן, הדוחף לסגירת מעגלי האש מהר ככל האפשר, עשוי להרפות במעט. זאת בשל המהירות של פעולת המכונה, וכן משום שניתן יהיה להסיק את מיקומו של יעד שהתחמק בוודאות גבוהה מאוחר יותר, באמצעות שרשרת העקבות הדיגיטליות שלו.

רכישת מטרות באמצעות בינה מלאכותית תגביר את אחוז הפגיעה במרכיב האנושי של ארגוני הטרור והגרילה. מרכיב זה הוא החשוב ביותר לתפקודם, חשוב יותר מאמל"ח (אותו ניתן לחדש ממדינות תומכות) וחשוב יותר ממפקדות הארגון (משום שכל בית יכול להפוך ל"מפקדה"). אמנם האמונה ב"עמידה האיתנה" ופולחן ה"שהיד" שימשו לארגונים הללו מקור השראה בעיתות קושי, אך ייתכן שהתודעה שהם נלחמים בכוח על-אנושי ממוחשב ונטול רגשות, יכרסם אפילו ברוח הלחימה הג'יהאדיסטית.

לסיכום נרטיב זה, מערכות בינה מלאכותית תהיינה מסוגלות, אולי, להטות את הכף בחזרה אל כיוון הציידים בשדה הקרב ההיברידי. יושם לב שבנרטיב זה, הבינה המלאכותית אינה מציעה תפיסת הפעלה חדשה, אלא מסירה חסמים למיזוי תפיסת המודיעין והאש הקיימת.

נרטיב "ביאת הרובוטים" - מיכון בשדה הקרב

הרובוטיקה בשדה הקרב מלהיטה את הדמיון ומעלה שאלות ביחס לתפקידו העתידי של הלוחם. עם זאת, חסרה בהירות באשר לתועלות הצבאיות שתשרת הרובוטיקה הקרבית ובאיזה סוג נרטיב היא משתלבת. נתייחס כאן לכמה טענות בעניין.

³³ לזיהוי מוקדם של דינמיקה זו, ראה: Andrew Krepinevich and Barry Watts, *The Last Warrior: Andrew Marshall and the Shaping of Modern American Defense Strategy* (Basic Books, 2015), p. 201.

³⁴ לסקירה על אוטונומיה באמל"ח, כולל רכישת מטרות (ATR - Automatic Target Recognition), ראה: Vincent Boulanin and Maaik Verbruggen, *Mapping the Development of Autonomy in Weapon Systems* (SIPRI, November 2017).

לפי טענה אחת, כלים אוטונומיים עשויים להניב תוצאות טקטיות טובות מאלו של החייל, אך בשל פרדוקס מוראבק, העלות במונחי כוח מחשוב עלולה להיות חסם. כמו כן, ראינו שהרובוטים יתקשו לייצר משמעות וקֶשֶׁר בסביבה צבאית־אזרחית מורכבת. לפי טענה אחרת, ישנה עליונות טקטית לקבוצה של כלים אוטונומיים המסוגלת לייצר המת תיאום גבוהה ולהתבזר או להתרכז לפי הצורך, כמו "נחילים" (Swarming). עם זאת, בפער האסטרטגי העיקרי בלחימה המודרנית, שהוא השתלטות וטיהור מרחבים אורבניים מורכבים תוך גרימת נזק אגבי מינימלי, לא ברור ש"נחילים" מביאים יתרון יחסי על פני לוחמי אדם.



תמונה 34: ניסוי של יחידת המארינס בשילוב רובוט צבאי מסוג LS3 בארה"ב, 2014. הרובוט מותאם לשימוש צבאי, ומשמש כאביזר תמך לחייל בשדה הקרב. לרובוט יכולת לשאת משאות כבדים וללכת אחרי מפעילו באופן עצמאי במגוון סביבות ותנאים. עם זאת, חסרה בהירות באשר לתועלות הצבאיות שתשרת הרובוטיקה הקרבית. (DVIDS photo by Cpl. Matthew Callahan).

מה שכן, רובוטים יוכלו לסייע במגוון משימות תומכות לחימה חשובות. תוך כך, ניתן יהיה לנצל יתרונות אחרים של רובוטים. ניתן יהיה, למשל, להשתמש בגמישות באפיון הפיזי של גופם כדי לעבור בשטחים בלתי־עבירים לבני אדם. עם זאת, עדיין קשה לדמיין בטווח הקרוב־בינוני עדיפות של כלים אוטונומיים בביצוע ליבת משימת הלחימה במרחב האורבני הצפוף.

טענה מתבקשת נוספת היא שכלים אוטונומיים יכולים לקדם את הערך החשוב של חיסכון בחיי לוחמים על ידי החלפתם בשדה הקרב, גם אם ביצועיהם טובים פחות. כיום, הרתיעה מאבדות הפכה לאילוץ פוליטי של ממש על הפעלת הכוח במערב. במסגרת נרטיב

זה, כלים אוטונומיים יוכלו להרחיב את חופש הפעולה הצבאי מבחינה פוליטית. לטענתנו, בעת קבלת החלטות בעניין בניין הכוח, ביצוע מדויק של המשימה צריך להיות בעל משקל רב יותר מאשר הרתיעה מאבדות. ככלל, לא יהיה זה איזון נכון לשלוח כלים אוטונומיים לבצע משימות לחימה בצורה פחות טובה מלוחמי אדם, בשל שיקולי שמירת הכוח בלבד. החלופה הטכנולוגית שקיימת היום לצמצום אבדות היא הפעלת כלים מרחוק בידי אדם, מבלי להזדקק לאוטונומיה. כנגד זה, ישנו תת־נרטיב שמתייחס לאתגר הלוחמה האלקטרונית והסייבר. בסביבה שבה הקישוריות מאותגרת, הכלים בקצה צריכים להיות מסוגלים להמשיך לתפקד לבד גם כשהתקשורת נופלת; בין אם להשלים את המשימה, ובין אם להיחלץ מהזירה באופן עצמאי.³⁵ קו טיעון זה הוא אמנם יפה, אך ספק אם מגולמת בו תועלת מרכזית למינוף הבינה המלאכותית.

לסיכום הסוגייה, נדמה כי בניגוד לדעה הרווחת, היתרון היחסי של הבינה המלאכותית אינו ברובוטיקה קרבית. ישנו ערך רב בפיתוח כלים אוטונומיים למגוון תפקידים תומכי לחימה, כמו בט"ש, לוגיסטיקה, מודיעין שדה, חילוץ והצלה; יישומים אלו יקדמו את ערך החיסכון בחיי אדם ופתרונות טקטיים מקומיים. עם זאת, בכל הקשור ללחימה יששיתית במרחבים אורבניים, מתקיימת לפי שעה עליונות טקטית וערכית של לוחמי אדם.³⁶

נרטיב "סייבר על סטרוואידים" - הכפלת הכוח בהגנה והתקפה

שדה נוסף שבו מתנהלת תחרות בין "ציידים" ו"מתחמקים" בסביבה רוויית דאטה, הוא הסייבר. בהתחשב בקרבתם למקצועות המחשב, אין להתפלא שגורמי סייבר יהיו בין המאמצים הראשונים של בינה מלאכותית. תוקפים בסייבר מפעילים בינה מלאכותית למיפוי רשתות היעד, לניחוש סיסמאות,³⁷ ל"דייג" חכם,³⁸ להפעלת רשתות בוטים ועוד. המגוינים בסייבר מפעילים בינה מלאכותית לאימות חכם של זהויות, לניטור חכם של הרשת ולפורנוזיקה מתקדמת. בעתיד הם שואפים לייצר חקירה והגנה אוטונומיות. בינה מלאכותית תוכל לשמש את שני הצדדים לחיפוש חולשות "יום אפס".³⁹ אין להתפלא אם בעתיד ייערך נתח גדול מהלחימה בסייבר - בין מכונות.⁴⁰ יש טעמים לחשוב שבמאזן הכולל, תקנה בינה מלאכותית הזדמנויות מיגון רבות יותר

³⁵ Defense Science Board, *Summer Study on Autonomy* (June 2016).

³⁶ נדמה כי צבא ארה"ב הגיע למסקנה דומה, ראה: TRADOC, *The US Army Robotics and Autonomous Systems Strategy* (March 2017).

³⁷ Matthew Hutson, "Artificial Intelligence Just Made Guessing Your Password a Whole Lot Easier", *Science* (September 15, 2017).

³⁸ ראה: John Seymour and Phillip Tully, "Weaponizing Data Science for Social Engineering"; *Zerofax* (July 26, 2016), www.blackhat.com/docs/us-16/materials/us-16-Seymour-Tully-Weaponizing-Data-Science-For-Social-Engineering-Automated-E2E-Spear-Phishing-On-Twitter.pdf [accessed: July 2018].

³⁹ גוף המו"פ האמריקני הביטחוני, DARPA, מקיים אתגר סייבר באופן עיתי המתמקד בתחום זה (Cyber Grand Challenge).

⁴⁰ נאדין וירקוטיס והדס קליין, "בינה מלאכותית בתחום אבטחת הסייבר", **סייבר, מודיעין וביטחון** (INSS), ינואר 2017.

על ידי ייבוש החולשות, יצירת שקיפות ברשת והאצת תגובות לזמן מכונה. אך בעידן שבו ביטחון הסייבר תלוי במידה גוברת בבינה המלאכותית, ייתכן שהצד המחזיק בעדיפות מבחינת כוח המחשוב, הדאטה והאלגוריתמיקה, ישלוט ברשת.

נרטיב "תודעה מלאכותית" - לשבש את תפיסת המציאות

נרטיב נוסף המתקשר למבצעי תודעה והשפעה. לא צריך ללמוד מארגוני הביון בשביל זה, עדיף להביט בחלוצים האמיתיים של התחום - גופי השיווק. כבר היום הפרסומות ממוקדות ומייצרות מסר מותאם על בסיס פרופילים אישיים של היעדים. כלים אלו נוצלו בעילות בתחום המסחרי, אך גם בתחום הפוליטי, כמו בפרשת קיימברג' אנליטיקה.⁴¹

בהסתכלות קדימה ניתן לראות כי איכותם של תכנים כוזבים שניתנים לייצר עולה עם הזמן. כיום, טכנולוגיות בינה מלאכותית בשיטת GAN (Generative Adversarial Network) מאפשרות לייצר קטעי וידאו משכנעים של סצינות שמעולם לא קרו, לרבות השמעת קול אותנטי והזזת שפתיים מותאמת למילים, בידי דמויות מוכרות.⁴² נוסף לכך כי יישומי התרגום והשפה הטבעית יכולים להסיר גם מגבלות תקשורת עם בעלי שפה זרה. יכולת ה"מחשוב הרגיש" ("Affective Computing") שלומדת את המצב הנפשי של המשתמש ומשפיעה עליו דרך שינויי פורמט בממשק, תעצים השפעה זו עוד יותר. צ'טבוטים משכנעים במדיה חברתית יאפשרו השפעה דרך שיח דינמי ולא רק בהפצה חד-כיוונית. המצרך של אלו עשוי לשבש את זירת התודעה באופן עמוק.

על הבינה המלאכותית ככלי תודעה יש גם מגבלות. ראשית, לאדם עדיין יש שליטה בסיסית במחשבותיו ועל החלטותיו - הטכנולוגיה אינה משתלטת על המוח. שנית, האדם עשוי להתרגל לסביבת המידע החדשה. חשיפה ל"תרגילים" תודעתיים מחסנת אותו מפני תרגילי המשך (אם כי שחיקת האמון הכללי במסרים לאזרח עלולה להיות המטרה של חלק מהתוקפים). נוסף על כך, יש לצפות לפתרונות הגנתיים שאף הם מבוססי בינה מלאכותית, כמו מסננים חכמים של חומר מזויף.

ללא קשר לאפקטיביות הטכנולוגית, החסמים הגדולים ביותר למבצעי תודעה משפיעים היו, ועודם, גיבוש התפיסה האסטרטגית וההבנה הביך-תרבותית בידי הגורם המבצע.

נרטיב "אלפא-קרב" - להזניק קדימה את החדשנות הביטחונית

החדשנות בשדה הקרב היא לא פחות מקיומית.⁴³ הצד שמצליח ראשון להנביט יכולות ושיטות חדשניות ולהטמיען בעילות, נהנה מיתרון א-סימטרי. מאחר ש"הכורח הינו אב

⁴¹ Berit Anderson and Brett Horvath, "The Rise of the Weaponized AI Propaganda Machine", *Scout* (February 9, 2017). <https://scout.ai/story/the-rise-of-the-weaponized-ai-propaganda-machine> [accessed: May 2018].

⁴² Hilke Schellman, "The Dangerous New Technology That Will Make Us Question Our Basic Idea of Reality", *Quartz* (December 5, 2017).

⁴³ ראה: מוטי ברוך וערן אורטל, "אוקיינוס של חדשנות - תר"ש גדעון וסוגיית החדשנות במטה הכללי", *מערכות*, 471 (צה"ל: מאי 2017).

ההמצאות", לאורך השנים היוותה המלחמה זרז לחדשנות טכנולוגית במערכת הביטחון, שחלחלו אחר כך למשק האזרחי (כולל המחשב, הלוויינות והאינטרנט).

עם זאת, בשנים האחרונות עולה החשש כי קצב השינויים ומאפייני האויב המסתגל והרשתי מאתגרים את הבריורקרטיות האיטיות של מערכות הביטחון המערביות. לצד זאת, מבט הצידה אל המגזר העסקי מראה כי הוא הפקיע ממערכות הביטחון את מעמד מובילי החדשנות. המגזר העסקי עלה על המגזר הביטחוני בהיקף ההשקעה במו"פ, וכיוון הזרימה של הטכנולוגיה התהפך (פתרונות רשת, מכשירים ניידים, מוצרי הגנת סייבר, רחפנים ואפילו שירותי חלל אזרחיים עקפו את מקביליהם הביטחוניים). במערכות הביטחון שמו לב לכך, והם מבקשים ללמוד מהצלחות התאגידים ולחקות את תהליכי החדשנות שלהם, כמו שיטות פיתוח אגיליות⁴⁴ ועריכת הקאתונים.

לבינה מלאכותית, כמו שהזכרנו, יש גם פוטנציאל לשרת את ערך החדשנות, על ידי יצירת חלופות מקוריות בעיצוב מוצרים או בחיפוש מהלכים מפתיעים בתנאי סימולציה. מה אם הבינה המלאכותית תהפוך לשותפה בתהליך החדשנות במערכת הביטחון, ותהווה מכפילת כוח שלו?

דוגמה אחת לפוטנציאל זה ניתנה על ידי DARPA, בתוכנית פיתוח צוללת אוטונומית. השאלה הייתה כיצד ניתן להקנות לצוללת את יכולת ההתחמקות מיריב, כדי לשפר את שרידותה; הרי התחמקות דורשת מיומנות טקטית מתקדמת מזו שניתן לתכנת בעץ החלטות רגיל. הפתרון של DARPA היה ליצור משחק מחשב המדמה את סביבת הפעולה של הצוללת, ולהפיץ אותו לאלפי שחקנים אנושיים. הדאטה מהמשחקים נאגרה ושימשה לאימון מערכת לומדת על אודות טקטיקות ההתחמקות הטובות ביותר.⁴⁵ במקרה זה, שדה החיפוש לטקטיקות הוגדל על ידי חוכמת ההמונים.

עד כאן לגבי טקטיקה של כלי בודד בסביבה פשוטה יחסית. אך מה לגבי עבודת צוות בשדה קרב רווי, כמו במציאות? אחד מניסויי הבינה המלאכותית בהקשר כזה הוא המשחק "StarCraft", משחק לחימה רב־צדדי מורכב. יצרן המשחק סיפק ממשק לבוטס, ומאז מתנהלות תחרויות לפיתוח שחקן אוטונומי מנצח. הבוטס משתפרים בינתיים, אך טרם מנצחים את השחקנים האנושיים החזקים ביותר.⁴⁶ במשחק דומה אחר בשם Dota, מערכת של ארגון Open AI הצליחה להביס צוות אנושי מתקדם, אך במחיר כוח מחשוב כבד של למעלה ממאה אלף מעבדים.⁴⁷

לצורך נרטיב החדשנות, העיקר הוא האפשרות ללמוד מהטקטיקות האנטי־אינטואיטיביות המתפתחות במשחקים כאלו. השימוש במאמנים/סימולטורים/מעבדות

⁴⁴ ראה: חיים דויטש וחי פרושר, **לזרום עם הכאוס - האגילופדיה העברית הראשונה** (מהדורה שנייה, Agile Planet, 2012).

⁴⁵ Michael Cooney, "Free DARPA Software Lets Gamers Hunt Submarines - DARPA Crowdsourcing Submarine Warfare Software", Network World (April 7, 2011).

⁴⁶ Yoochul Kim and Minhyung Lee, "Humans Are Still Better Than Machines at Starcraft - For Now", *MIT Technology Review* (November 1, 2017).

⁴⁷ Katyanna Quach, "Open AI Bots Thrash Team of Dota 2 Semi-Pros, Set Eyes on Mega-tourney", *The Register* (August 6, 2018).

קרב עם תיעוד דיגיטלי הולך ומתרחב. כמו כן, המידע הנאגר בתרגילים אנושיים נמצא בתת-מיצוי לתחקור ולמידה צבאיים. נדרש לנצל את שיטות מדעי הדאטה בכדי להפיק תועלת מהנתונים הקיימים. השלב הבא עשוי להיות ביצוע אימונים נגד בוטים לומדים, ואולי אחר כך אפשר יהיה לייצר משחקים בין הבוטים לבין עצמם בקרבות רבים. דרך התוצאות ניתן לחפש טכניקות חדשות לגמרי, כמו שנעשה ב"אלפא-גו", אבל בסביבה הדומה יותר ל-StarCraft.



תמונה 35: Starcraft – משחק לחימה המהווה ניסוי בבינה מלאכותית בשדה קרב רווי. הבוטים משתפרים, אך טרם מנצחים את השחקנים האנושיים החזקים ביותר. (Jan Kaláb, Fliker)

אפשר גם להריץ חיפושים חכמים אחר דגמי אמל"ח, כמו שנעשה במקרים של השבבים והאנטנות, למשל. בהינתן דגמים מבטיחים, אפשר לבצע בהם ניסויים וירטואליים לא רק מול אפיונים פיזיקליים, אלא גם לבחון את דרכי השימוש באמל"ח הממודל על ידי בוטים, בקרבות וירטואליים רבים; בשילובים שונים של תרגילים בין בני אדם, בין אדם למכונה⁴⁸ ובין מכונה למכונה, בתמהילים שונים של אמל"ח המעוצב בידי תוכנה. עם ניתוח מתקדם של הביג-דאטה המופק, ייתכן שאפשר יהיה לגלות תפיסות לחימה פורצות דרך. לסיכום נרטיב זה, היצירתיות הינה תכונה אנושית, אבל הטכנולוגיה מסוגלת לסייע לאדם להרחיבה בחיפוש אחר חלופות ופתרונות אנטי-אינטואיטיביים בעיצוב אמצעים, טקטיקות פעולה ואולי גם תפיסות מערכתיות יותר. זו אולי אחת הפינות המעניינות ביותר לבחינת יישומי הבינה המלאכותית - כמכפילת כוח בחדשנות הביטחונית.

⁴⁸ בשחמט, למשל, הודגם שצוותים מעורבים של אדם ומחשב למדו להתגבר על שחקן שכולו מחשב. ראו קספרוב, לעיל.

סיכונים

מרכיב השליטה - מניעת כשל מערכתי

ניתוח הסיכונים בהקשר הבינה המלאכותית דורש התייחסות לפן השליטה בה. המחשה טובה ניתן לראות מאירוע שקרה בבורסה; המצרף בין תוכנות מסחר אוטומטיות הביא ל"קריסת פתע" של השוק ללא הסבר רציונאלי. במקרה זה הרגולטור ידע לקטוע את המסחר ולאחזר אותו לנקודה שלפני ה"תקלה".⁴⁹ ברור שבשדה הקרב לא ניתן לאפס את הלחימה ולאחזר אותה אחורה.

מסיבה זו, קיימת מוסכמה במערב לפיה חובה להשאיר אדם ב"חוג קבלת ההחלטות" ("Man in the Loop") ביישומים מסוכנים של בינה מלאכותית, זאת כדי להבטיח שיקול דעת ואחריות אנושית סופית בהם.⁵⁰ אך אין זו ערובה למניעת כשל מערכתי. דוגמה לכך היא תאונה קטלנית שביצע רכב אוטונומי של חברת אובר, ובתוכו נהג מפקח. בתחקיר עלה כי פונקציית בלימת-פתע עצמאית כובתה כדי לאפשר נסיעה חלקה, ובמקביל הרכב לא תוכנן להציף לנהג מצבי סכנה, אלא ניתנה לנהג האפשרות לקחת יוזמה ולהתערב לפי שיקול דעתו בלבד.⁵¹

במקרים אחרים, התהליכים ב"חוג" מורכבים כל כך עד שכמעט אין משמעות לפיקוח האנושי, אשר עלול להפוך ללא פחות מגורם משבש. ניתן להבין מכך שעצם נוכחות האדם לא מספיקה, אלא נדרש לתכנן את המערכת הכוללת בראייה הוליסטית טכנית-אנושית (Social-Technical System). כמו כן, נדרש יהיה להתייחס לשאלה אם המדיניות של "אדם בחוג" תקפה מול אויב שאף הוא מפעיל מערכות בינה מלאכותית בלי עכבות דומות.⁵² כדי להתגונן מפני כשל מערכתי, נדרש לפתח הבנה עמוקה בהתנהגותם של מנגנוני תיאום ושליטה שונים, בממשקי אדם-אדם, אדם-מכונה ומכונה-מכונה. זוהי סוגייה מרכזית למחקר ולמדיניות, וסיבה לזהירות בתכנון ובפריסה של מערכות בינה מלאכותית בעלות השלכות קטלניות.

מעניינגד - דרכי התמודדות עם בינה מלאכותית

"ההיגיון הפרדוקסאלי" של האסטרטגיה⁵³ גורס כי לכל מאמץ אסטרטגי יש נקודת היפוך, בשל המאמץ הנגדי שהוא מעורר מהאויב. לכן, כמו בכל תחרות למידה, נדרש לשאול: מהי מידת העמידות של הבינה המלאכותית בפני תגובות נגדה?

⁴⁹ לדוגמה, ראה: CFTC & SEC, *Findings Regarding the Market Events of May 6, 2010: Report of the Staffs of the CFTC and SEC to the Joint Advisory Committee on Emerging Regulatory Issues* (Washington DC: 2010).

⁵⁰ ראה: Department of Defense Directive 3000.09, *Autonomy in Weapon Systems* (November 21, 2012).

⁵¹ National Transportation Safety Board, Preliminary Report Released for Crash Involving Pedestrian, *Uber Technologies Inc, Test Vehicle* (May 24, 2018).

⁵² Patrick Tucker, "Russia to the United Nations: Don't Try to Stop Us from Building Killer Robots", *Defense One* (November 24, 2017).

⁵³ Edward Luttwak, *Strategy: The Logic of War and Peace* (Massachusetts: Harvard University Press, 1987).

שקיפות נמוכה בתהליכי החישוב של מערכות בינה מלאכותית מהווה גורם שמקשה על המתמודדים עימה. אפילו מפתחי המערכת אינם מבינים את דרכי פעולתה במקרים ספציפיים. בתחום האזרחי, חוסר השקיפות מהווה מקור לדאגה לרגולטורים, אבל בתחום תחרות הלמידה הצבאית זהו יתרון.



תמונה 36: דוגמא לתקיפת מערכת לומדת בשיטת "Adversarial AI" – שינוי פיקסלים בתמונה בהיקף שהעין האנושית לא מבחינה בו, יכול להביא לזיהוי מוטעה לחלוטין של התמונה על ידי המערכת. (Goodfellow et al 2014)

עם זאת, מתפתחת שיטה להטיית מערכות לומדות. שיטות אלו מכונות בינתיים בשם קצת מבלבל: "Adversarial AI". הן מאפשרות את שיבוש שיקול הדעת של מערכת על ידי זיהום נתוני האימון, או על ידי ניצול תורפות באלגוריתם. לכן, נתיב התקיפה של "Adversarial AI" עלול להתברר כאיום מערכתי על מדינות שפרסו ערים, תעשיות ותהליכים "חכמים" שבהם האופטימיזציה מתבצעת במערכת מרכזית (למשל, מערכת ה-"Social Credit" של סין שהזכרנו עשויה להתברר כיעד מפתה להטיות פוליטיות וחברתיות על ידי בעלי אינטרסים מבפנים ומבחוץ).

בהקשר הצבאי, אויב שרוצה להטות בינה מלאכותית קרבית עלול להכשיל תהליכים מבצעיים ולהביא לאירועי נז"א מצערים. לכן, מערכות התומכות בהחלטות צבאיות גדולות ו/או קטלניות, יצטרכו חליפת הגנה מפני נתיב התקיפה הנ"ל.

מרוץ חימוש - מי ירום ומי ישפל

יש להתייחס גם לפוטנציאל המפגש בין מערכות בינה מלאכותית של שני יריבים או יותר. הזכרנו כבר אפשרויות כאלו בחלק מהנרטיבים ששרטטנו לעיל, כמו בין הגנה והתקפה בסייבר, וכמו בין הונאה ואימות, בקרב על התודעה. אולי אף אפשר לדמיין מפגש כזה בנרטיב החדשנות, בדמות תחרויות בין מערכות בינה מלאכותית יריבות בתנאי סימולציה. זאת, כמבחני עוצמה בין צבאות, או אף כפרוקסי לקרב קינטי אמיתי (בדומה לדר-קרב בין שליחים בתקופה העתיקה). אם מקבלי החלטות בעתיד יפתחו אמונה שעוצמת הבינה המלאכותית היא מרכיב מכריע, אזי יש אפשרות שיסכימו לפתור סכסוכים ביניהם במבחן גלדיאטורי ממחשב, במקום להקריב נכסים יקרים במלחמה.

כאמור, במקרים של מפגש בין מערכות בינה מלאכותית מתחרות, היתרון עשוי להיות לזה המחזק את כוח המחשוב, צובר דאטה רבה יותר ומפתח אלגוריתמיקה טובה יותר.

ניתן אם כן לצפות למרוץ חימוש במרכיבים הללו. סימנים של מרוץ חימוש כזה כבר נראים בפועל,⁵⁴ כפי שמשתקף בהקמת מרכזי בינה מלאכותית ביטחונית בקרב המעצמות.⁵⁵ לגבי כוח המחשוב, ניתן להצביע על מרוץ בין-מעצמתי בתחום מחשוב-העל, ובפרט מחשוב קוונטי. אך אם מחשוב יוכר כמשאב אסטרטגי במחסור, ניתן לצפות גם לאסטרטגיות א-סימטריות מצד הגורמים החלשים. כיום, לדוגמה, גניבת כוח מחשוב מאחרים באינטרנט למטרות כריית מטבע דיגיטלי, מהווה מקור איום גובר בסייבר. ניתן לדמיין מבצעי סייבר דומים מצד מדינות סוררות וארגוני טרור, המבקשים לגנוב כוח מחשוב כדי לתמוך באפליקציות בינה מלאכותית משלהם.



תמונה 37: אנטנה לחללית ST5 של נאס"א (2006) שעוצבה על ידי תוכנת חיפוש אבולוציוני להיות אופטימאלית מבחינת קרינה. (NASA)

לגבי הדאטה, היא כבר מתחילה להיתפס בתור ה"נפט" החדש. תאגידי הדיגיטל הבין-לאומיים הבינו זאת זה מכבר, והם מתחרים על הדאטה של משתמשים כמפתח לאחיזה בשווקים. במדינות כמו סין ורוסיה נקבעה רגולציה המחייבת שימור מאגרי נתונים הנוגעים לאזרחים, בשרתים מקומיים תחת פיקוח ממשלתי (Data Residency). מנגד, מדינות המערב הפתוחות (יחסית) מבקשות להגדיל את חופש המידע לצד שמירה על פרטיות המשתמשים. שמירה זו מהווה מקור עוצמה מבחינה כלכלית וערכית, אך עלולה להיתפס כחולשה בהקשר של מיצוי פוטנציאל הבינה המלאכותית. הבנת ערך הדאטה גם מגביר את חשיבות הסייבר ככלי להשגתה. בצד מבצעי חדירה לליבות סוד מצומצמות, יעלה הערך של מבצעי סייבר לאיסוף דאטה רבה, כמו כיפופי תעבורת רשת.

מבחינת שכלול האלגוריתמיקה, קיימת תחרות בין-לאומית על המפתחים המוכשרים ביותר בתחום, כולל ניסיונות למנוע בריחת מוחות, לפתות מפתחים זרים מוכשרים, להרחיב את ההון האנושי בחינוך ובהשכלה, ולייצר אקוסיסטם של חדשנות אזרחית-ביטחונית.

אך חלק מהמפתחים משתייכים לתרבות שאינה שותפה בהכרח לתודעה הביטחונית, ומתחזקת אצלם תחושת כוח מגזרית. כך למשל, עצומה של עובדי גוגל הצליחה להביא לאי-הארכת חוזה עם משרד ההגנה האמריקני למיזם בינה מלאכותית למטרות תקיפה צבאית (פרויקט "מייבן"). בעקבות אירוע זה, הוציאה גוגל קוד אתי ובו הצהירה על אי-פיתוח בינה מלאכותית לאמל"ח תוקף.⁵⁶ זוהי תופעה תקדימית של סרבנות מצפון בקרב

⁵⁴ Elsa Kania, "China is on a Whole-of-Nation Push for AI. The US Must Match It", *Defense One* (December 8, 2017).

⁵⁵ ראו: Patrick Tucker, "China, Russia and US are all Building Centers for Military AI", *Defense One* (July 12, 2018).

⁵⁶ Sundar Pichai, *AI at Google: Our Principles* (June 7, 2018), posted at <https://blog.google/topics/ai/ai-principles/> [accessed: July 2018].

מפתחי תוכנה. אמנם ספק אם לתופעה זו היו סיכויים דומים בחוף המזרחי של ארה"ב, אך האירוע מעיד על כך שניהול מרוץ החימוש ידרוש התחשבות באופי ובאינטרסים של המפתחים, בדומה לצורך לטפח את רוח הלחימה של החיילים.

שלב ג - בניין הכוח: חסמים ודרכי הטמעה

לפי סקרים של חברת מקינזי, על אף התחושה שמחשבים ורשתות כבר חדרו לכל מקום, אחוזים נמוכים של ארגונים מיצו את הדיגיטציה,⁵⁷ ואילו יישומי בינה מלאכותית נמצאים אך בתחילת תהליך ההטמעה.⁵⁸ החסמים עשויים להיות בכוח אדם, בארגון, בתשתיות, בתקציב ובתפיסה.

כוח אדם

יישומי בינה מלאכותית אינם גנריים. השיטות העקרוניות ואפליקציות המדף טעונות התאמה לצורכי הארגון ולמשימותיו. פעולת ההתאמה דורשת כוח אדם מיומן בתחום מדעי הדאטה, כוח אדם זה נמצא במחסור משמעותי. זהו חסם מרכזי שניתן להתמודד עימו באמצעות הגדלת גיוס בעלי רקע רלוונטי והכשרה ייעודית במסגרת הצבא.

ארגון

יש לצפות לקושי בהטמעה אחידה, מתועדפת ומשולבת ביחידות. מטבע הדברים, גופים בעלי גישה נוחה לכוח האדם והטכנולוגיה, כמו המודיעין, יתקדמו מהר ביחס ליחידות השדה, למשל. ללא יד מכוונת, ניתן גם לצפות לאגירת דאטה בפורמטים שונים, למידור ולהפרעות נוספות בהיתוך המידע. באופן כללי, בניין כוח רב־זרועי (Joint) הוא מהמאתגרים ביותר, והטמעה רוחבית של בינה מלאכותית היא אתגר מסוג זה. יש לשקול הקמת חיל אשר יפרוס קציני דאטה ביחידות, יבטיח סטנדרט מקצועי אחיד, יזהה סינרגיות, יתמוך במפקדים וידאג לבניין עתודות כוח האדם.

תשתית

השקעה תשתיתית במחשוב־על ובמרכזי דאטה גדולים עלולה להיות יקרה ולחייב הסתת משאבים ברמה הצבאית או הלאומית. כדי למצות את פוטנציאל "נרטיב החדשנות", יש לציין אף את תחום הסימולציה המערכתית עם ממשקים לבוטים (bots) כמרכיב תשתית נוסף. כך גם מעבדות לחקר בעיית השליטה והגנת הבינה המלאכותית מסייבר. עם זאת, כפי שראינו, חלק מהתועלות המובילות בבינה המלאכותית (האוטונומיה והניהול החכם) עשויות לפנות מקורות, וכך להחזיר חלק מההשקעה. קיימים מנגנונים

Jacques Bughin, Laura LaBerge and Anette Mellbye, "The Case for Digital Reinvention", ⁵⁷ *Mckinsey Quarterly* (February 2017).

Mckinsey Global Institute, "Artificial Intelligence - the Next Digital Frontier?", *Discussion Paper* (June 2017). ⁵⁸

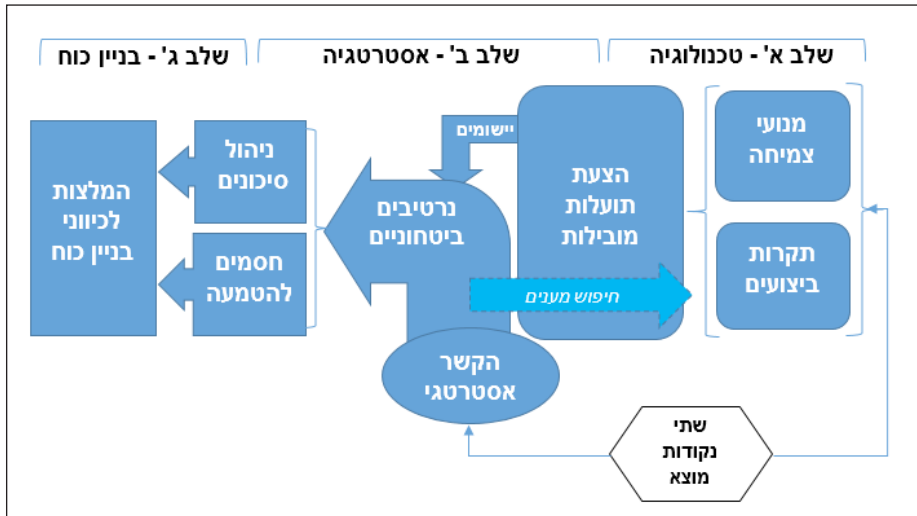
לעידוד ההתייעלות בגופים, ובהתחשב בגודל החיסכון הפוטנציאלי משימוש בבינה המלאכותית, נכון לחשוב על הרחבתם. למשל, מנגנוני מימון על בסיס הלוואות גישור ליחידות המבקשות להטמיע תהליכים חכמים, יאפשרו לתמרץ ולהקדים תוכניות רלוונטיות.

תפיסה

פערי ידע, קשב וסקפטיות בדרג מקבלי החלטות עלולים להוות מעכבים משמעותיים, גם כאשר מבעבעת רוח חדשנית צעירה מלמטה. נדרשות הזדמנויות להרחבת החשיפה לסגל הבכיר, בדרג המדיני ובפורומים נוספים ליכולות המתפתחות ולמשמעויותיהן, וכן לעודד מחקרים רבת-תחומיים בנושא.

סיכום

במאמר זה הצבענו על הצורך בניתוח שינויים טכנולוגיים גדולים בראייה אסטרטגית, בעזרת מתודולוגיה שיטתית. השתמשנו בבינה המלאכותית כמקרה בוחן, בשל היותה טכנולוגיית יסוד במהפכה התעשייתית הרביעית. באמצעות המתודולוגיה, הראינו שאם טכנולוגיות הבינה המלאכותית ייבנו ויוטמעו בצורה מתאימה, יישומיה יוכלו לקדם תועלות כבדות משקל. כמו כן, נקטנו עמדה ביחס לתעדוף בין תועלות אלו, הדגשנו סיכונים שיש לנהל והמלצנו על כיווני בניין הכוח.



תמונה 38: ניתוח טכנו-אסטרטגי - תרשים מתודולוגי מלא לסיכום הדברים.

גם מי שחולק על המסקנות שהתוונו, יודה ששיח ומתודולוגיה מהסוג שהצענו נדרשים בשורה של תחומי טכנולוגיה משבשת נוספים. כדאי שהשיח האמור ייתמך על ידי מנגנון קבוע, המשלב את הראייה המקצועית של טכנולוגיה ואסטרטגיה במובן הרחב של תחומי

הידע הללו. המתודולוגיה במאמר זה נועדה, כאמור, לסייע לתהליך. הצורך איננו רק במישור הביטחוני אלא גם במישור הלאומי. עד כה פעלה מדינת ישראל אד-הוק ביחס להזדמנויות טכנולוגיות. הממשלה החליטה לרכז מאמצים בנושאי ממשל זמין, תחליפי נפט לתחבורה, סייבר, ולאחרונה גם מחשוב קוונטי.⁵⁹ גורמי מדיניות לא בחנו אם נדרשים מהלכים דומים בתחומים כמו עריכה גנטית, חומרים מתקדמים, אנרגיה מתחדשת, ממשק מוח-מחשב ועוד. בטח ובטח שלא נבחנו המשמעויות לטכנולוגיות הללו ואחרות בראייה מצרפית. ללא מנגנון קבוע לעיסוק בטכנולוגיה ואסטרטגיה, הבחירות הנ"ל עלולות להתברר ככיסוי אקראי ולא מחושב.

כדי למסד מנגנון כזה, יש לשקול הקמת גוף ייעודי במערכת הביטחון ו/או ברמה הלאומית, אשר יעקוב אחר טכנולוגיות מתפתחות, ינתח את משמעויותיהן האסטרטגיות ויגבש המלצות מערכתיות. כדאי שבמסגרתו יהיה תמהיל מנתחים שמייצג ראייה ביטחונית, תעשייתית ואקדמית. המסגרת האנליטית שהוצעה כאן, בתוספת התאמות, עשויה להיות רלוונטית לעבודת גוף מסוג זה.

ההתקדמות המהירה של טכנולוגיות עוצמתיות המציבות סיכונים והזדמנויות בקנה מידה היסטורי, היא אחת מן האתגרים המרכזיים של דורנו. טכנולוגיות אלו מבשילות בתקופה של השתנות אסטרטגית כמו המעבר לסדר עולם רב-קוטבי, שחיקת הגלובליזציה, מלחמות דת אזוריות, תפוצת נשק להשמדה המונית ועוד. כיום, במסגרות הלאומיות והביטחוניות, לא נמצא גוף או מנגנון לניתוח המפגש בין המגמות הטכנולוגיות והאסטרטגיות הללו. פיתוח הכושר האנליטי הזה למען התמודדות מושכלת עם העתיד, הוא צו השעה.

⁵⁹ טל שחף, "הממשלה תקצה 300 מיליון שקל למחשוב הקוונטי בישראל", **גלובס** (2 ביולי 2018), <https://www.globes.co.il/news/article.aspx?did=1001244212> [נבדק לאחרונה ביולי 2018].

רשימת מקורות:

- אורטל, ערן ומוטי ברוך. "אוקיינוס של חדשנות - תר"ש גדעון וסוגיית החדשנות במטה הכללי". **מערכות**, 471. צה"ל: מאי 2017.
- דויטש, חיים, ופרושר, חי. **לזרום עם הכאוס - האג'ילופדיה העברית הראשונה**. מהדורה שנייה. Agile Planet, 2012.
- וירקוטיס, נאדין וקליין, הדס. "בינה מלאכותית בתחום אבטחת הסייבר". **סייבר, מודיעין וביטחון**. INSS, ינואר 2017.
- ון קרפלד, מרטין. **מלחמה ותחזוקה**. הוצאת מערכות, 1983.
- עילם, עוזי. **קשת עילם**. משכל וספרי חמד, 2009.
- פינקל, מאיר. "יעילות ונקודת השיא של ההצלחה - האם דפוס הפעולה של מערכה אווירית בפתחת מערכה עבר את נקודת השיא". **בין הקטבים**, 11-12, יוני 2017.
- שחף, טל. "הממשלה תקצה 300 מיליון שקל למחשוב הקוונטי בישראל". **גלובס**, 2 ביולי 2018. <https://www.globes.co.il/news/article.aspx?did=1001244212> [נבדק פעם אחרונה ביולי 2018].
- Ackerman, Evan. "Can Winograd Schemas Replace Turing Test for Defining Human-level AI". *IEEE Spectrum*, July 29, 2014.
- Allen, Greg, and Taniel Chan. *Artificial Intelligence and National Security*. Belfer Center, July 2017.
- Anderson, Berit, and Horvath, Brett. "The Rise of the Weaponized AI Propaganda Machine". *Scout*, February 9, 2017. <https://scout.ai/story/the-rise-of-the-weaponized-ai-propaganda-machine> [accessed: May 2018].
- Ball, Philip. "The Era of Quantum Computing is Here. Outlook: Cloudy". *Quanta Magazine*, January 24, 2018.
- Bostrom, Nick. *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*. Oxford University Press, 2014.
- Boulanin, Vincent, and Verbruggen, Maaik. *Mapping the Development of Autonomy in Weapon Systems*. SIPRI, November 2017.
- Brodie, Bernard. *Strategy in the Missile Age*. Republished by RAND Corp., 2007.
- Brooks, Rodney. "The Seven Deadly Sins of AI Predictions". *MIT Technology Review*, October 6, 2017.
- Backup, Sebastian, and Casas Klett, Tomas. "Why Today's Leaders Need to Know about the Power of Narratives". *World Economic Forum*, July 4, 2018.
- Bughin, Jacques, LaBerge, Laura and Mellbye, Anette. "The Case for Digital Reinvention". *Mckinsey Quaterly*, February 2017.
- CFTC & SEC. *Findings Regarding the Market Events of May 6, 2010: Report of the Staffs of the CFTC and SEC to the Joint Advisory Committee on Emerging Regulatory Issues*. Washington DC: 2010.
- Christensen, Clayton. *The Innovator's Dilemma*. Harvard Business Review Press, 1997.
- Chui, Michael, Manyika, James, and Miremad Mehdi. "Four Fundamentals of Workplace Automation". *Mckinsey Quaterly*, November 2015.
- Cooney, Michael. "Free DARPA Software Lets Gamers Hunt Submarines - DARPA

- Crowdsourcing Submarine Warfare Software". *Network World*, April 7, 2011.
- Cross, Tim. "After Moore's Law". *Economist*, 2017.
 - Defense Science Board. *Summer Study on Autonomy*, June 2016.
 - Department of Defense Directive 3000.09. *Autonomy in Weapon Systems*, November 21, 2012.
 - Enthoven, A. and Smith, K. *How Much is Enough? Shaping the Defense Program 1961–1969*. RAND, 2005.
 - Evans, Richard and Gao, Jim. "DeepMind AI Reduces Google Data Center Cooling Bill by 40%". *Deepmind*, July 20, 2016. <https://deepmind.com/blog/deepmind-ai-reduces-google-data-centre-cooling-bill-40/> [accessed: May 2018].
 - Goodfellow I.J., Shlens J., and Szegedy C., Explaining and Harnessing Adversarial Examples. arXiv:1412.6572v3, 2014.
 - Hammond, Grant. *The Mind of War: John Boyd and American Security*. Smithsonian Books, 2001.
 - Hornby, Gregory S., et al. "Automated Antenna Design with Evolutionary Algorithms". *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, September 2006.
 - Hutson, Matthew. "Artificial Intelligence Just Made Guessing Your Password a Whole Lot Easier". *Science*, September 15, 2017.
 - Hvistendal, Mara. "Inside China's Vast New Experiment in Social Ranking". *Wired*, December 14, 2017.
 - Kahneman, Daniel. *Thinking, Fast and Slow*. Farrar, Straus and Giroux, 2011.
 - Kania, Elsa. "China is on a Whole-of-Nation Push for AI. The US Must Match It". *Defense One*, December 8, 2017.
 - Kasparov, Garry. *Deep Thinking - Where Machine Intelligence Ends and Human Creativity Begins*. John Murray Publishers, 2017.
 - Kennedy, Paul. *Rise and Fall of the Great Powers*. New York: Random House, 1987.
 - Kim, Yoochul, and Lee, Minhyung. "Humans Are Still Better Than Machines at Starcraft - For Now". *MIT Technology Review*, November 1, 2017.
 - Krepinevich, Andrew, and Watts Barry. *The Last Warrior: Andrew Marshall and the Shaping of Modern American Defense Strategy*. Basic Books, 2015.
 - Luttwak, Edward. *Strategy: The Logic of War and Peace*. Massachusetts: Harvard University Press, 1987.
 - McKinsey Global Institute. "Artificial Intelligence - the Next Digital Frontier?". *Discussion Paper*, June 2017.
 - Miles, James (ed.). *The Surveillance State: Perfected in China, a Threat in the West*. The Economist, June 2, 2018.
 - Moravec, Hans. *Mind Children*. Harvard University Press, 1988.
 - National Academies of Sciences, Engineering and Medicine. *Strengthening Data Science Methods for Department of Defense Personnel and Readiness Missions*. Washington DC: The National Academies Press, 2017.
 - National Transportation Safety Board. *Preliminary Report Released for Crash Involving Pedestrian, Uber Technologies Inc, Test Vehicle*, May 24, 2018.

- Pichai, Sundar. *AI at Google: Our Principles*, June 7, 2018. <https://blog.google/topics/ai/ai-principles/> [accessed July 2018].
- Pieniewski, Filip. *The AI Winter is Well on its Way*. Venture Beat, June 4, 2018.
- Possony, Stephen, and Pournelle J.E.. *Strategy of Technology*. University Press of Cambridge, 1970.
- Quach, Katyanna. "Open AI Bots Thrash Team of Dota 2 Semi-Pros, Set Eyes on Mega-tourney". *The Register*, August 6, 2018.
- Schellman, Hilke. "The Dangerous New Technology That Will Make Us Question Our Basic Idea of Reality". *Quartz*, December 5, 2017.
- Schwab, K. *The Fourth Industrial Revolution*. Currency, 2017.
- Seymour, John, and Tulley, Phillip. "Weaponizing Data Science for Social Engineering". *Zerofox*, July 26, 2016. www.blackhat.com/docs/us-16/materials/us-16-Seymour-Tully-Weaponizing-Data-Science-For-Social-Engineering-Automated-E2E-Spear-Phishing-On-Twitter.pdf [accessed: December 31, 2017].
- Simpkin, Richard. *Race to the Swift - Thoughts on 21st Century Warfare*. B.T. Batsford, 1994.
- Singer, Daniel. "Israel's Artificial Intelligence Startups". *Linkedin*, September 7, 2017.
- Snow, C.P. *The Two Cultures and the Scientific Revolution*. Cambridge University Press, 1959.
- TRADOC. *The US Army Robotics and Autonomous Systems Strategy*, March 2017.
- Tucker, Patrick. "China, Russia and US are all Building Centers for Military AI". *Defense One*, July 12, 2018.
- Tucker, Patrick. "Russia to the United Nations: Don't Try to Stop Us from Building Killer Robots". *Defense One*, November 24, 2017.