

## טכנולוגיות מתקדמות – הרבה, מהר ולא רק צבאי

לירן ענתבי

המלחמה בין רוסיה לאוקראינה היא הזדמנות לבחינת השימוש בטכנולוגיות מתקדמות בשדה הקרב בן זמננו. מדובר בעימות בין־מדינתי שנלחמים בו שני צדדים מתקדמים יחסית מבחינה טכנולוגית לצד מעורבות ותמיכה של מדינות אחרות, של מעצמות ושל בריתות. לכולם מספק האירוע "שדה ניסויים" למגוון אמצעים ובעיקר להדגמת שימוש נרחב בבינה מלאכותית ובכלי טיס בלתי מאוישים (כטב"מ), בהם רחפנים ומטוסים ללא טייס (מל"ט). פרק זה יתמקד בארבע טכנולוגיות בולטות במיוחד במלחמה זו: כטב"מים, בינה מלאכותית, מערכות בלתי מאוישות ונשקים היפר־סוניים.

במלחמה באוקראינה נבחנו לא מעט הנחות יסוד שעמדו בבסיס בניין הכוח של צבאות מתקדמים, ואפשר להסיק ממנה כמה מסקנות חשובות:

א. המלחמה היא מקפצה אדירה לתחום הכטב"מ. זוהי בעיקר שעתן הגדולה של המערכות הפשוטות והזולות יחסית לצד החימושים המשוטטים (בהם כטב"מים מתאבדים).

ב. עם זאת, השימוש במערכות בלתי מאוישות בממדים הימי והיבשתי והצלחותיהם המבצעיות הם מצומצמים ונחשבים עדיין שוליים במלחמה.

ג. לשימוש בבינה מלאכותית יש השפעה ניכרת על המלחמה, והיא מסייעת להעצים את הצד בעל העוצמה הצבאית הפחותה. במלחמה זו היא מעצימה את הצד האוקראיני, שבין היתר התבסס על תמיכה של מדינות מערביות ושל נאט"ו. המלחמה מדגימה גם ביתר שאת את חשיבותה של הבינה המלאכותית לשדה הקרב העתידי, את חשיבותן של טכנולוגיות דו־שימושיות ואת מרכזיותן של חברות טכנולוגיה בינלאומיות – שחקניות חשובות במלחמה עצמה ובזירה הבינלאומית.

ד. הפרדיגמות הישנות – תהליכי בניין כוח ארוכים שמובילות התעשיות הביטחוניות המסורתיות – הולכות ונחלשות, ומתחזק הצורך למסד יכולת לפיתוח מהיר של טכנולוגיות מתוצרת צבאית או אזרחית, להסבתן לצורכי השעה הצבאיים ולהטמעתן המהירה בקרב הכוחות הלוחמים.

\* המחברת מבקשת להודות למר קורן אורן ולגברת ג'ואל שינן, מתמחים במכון וסטודנטים באוניברסיטת רייכמן, על עזרתם בגיבוש מאמר זה.

---

מלחמה שלא די לה: אספקטים של המלחמה באוקראינה ומשמעותם לישראל / עורך: עפר שלח

### **כלי טיס בלתי מאוישים במלחמה באוקראינה: שעתן הגדולה של המערכות הקטנות**

הפלישה הרוסית לאוקראינה היא למעשה המלחמה הראשונה שבה שני הצדדים עושים שימוש נרחב בכטב"מים – החל מכלים מתקדמים מתוצרת תעשיות צבאיות ברחבי העולם, דרך כלים מאולתרים וכלה בכלים קטנים שאפשר לרכוש מן המדף האזרחי.

**Orlan 10** – כטב"מ בעל כנף קבועה מתוצרת רוסיה, בעל יכולת שהייה של כ-16 שעות באוויר, לאיסוף מודיעין ותקיפה באמצעות הטלת פצצות. במל"ט זה משולבות טכנולוגיות מערביות רבות, בעיקר בתחום האלקטרוניקה והעיבוד.

**Shahed 136** – כטב"מ מתאבד מתוצרת איראן. עלותו המוערכת היא כ-20 אלף דולרים. הוא משוגר ממשאיות בקבוצות בנות חמישה מל"טים, מוזן בנ"צ, משייט לעבר מטרתו באמצעות GPS ויכול לשאת כ-40 ק"ג חומר נפץ. הוא אינו מתאפיין ברמת דיוק גבוהה, אך גרם הרס רב במתקפות נרחבות של רוסיה על ערי אוקראינה שנועדו לפגוע במטרות איכות, כגון תשתיות החשמל והמים, כדי להקשות על האוכלוסייה האזרחית בעונת החורף. רבים מן הכטב"מים הללו ומל"טים מדגם Shahed 131, גם הם מתוצרת איראן, יורטו על ידי האוקראינים.

### **כטב"מים בולטים בשימוש אוקראיני**

**Bayraktar TB2** – מל"ט מתוצרת טורקיה המסוגל לטוס במהירויות גבוהות (220 קמ"ש) ובגובה רב (כ-25 אלף רגל). הוא יכול לשאת ארבעה טילים מוכווני GPS או מונחי לייזר, ומסוגל לתקוף טנקים, מבנים ואפילו בונקרים. מדובר בכלי זול ביחס לחלופות האמריקניות או הרוסיות, ומפעילים אותו כמה אנשי צוות מתחנת שליטה קרקעית.

**Switchblade** – למל"ט האמריקני שני דגמים. הדגם הראשון הוא Switchblade 300 – דגם קטן ומתאבד, שילוב בין מל"ט סיור לנשק. הוא קטן וקל יחסית, ומשקלו הכולל עם משגר הרחפן הוא 2.7 ק"ג. מדובר בכטב"מ שקט יותר מן ה-Shahed האיראני בזכות המנוע החשמלי שלו. זמן השהות שלו באוויר קצר, וטווח הטיסה שלו הוא כעשרה ק"מ בלבד. העלות המוערכת שלו היא כ-6000 דולרים בלבד, ומאות ממנו סיפקה ארצות הברית לאוקראינה. הדגם השני הוא Switchblade 600 – כטב"מ גדול יותר במידה ניכרת, אך חייל אחד עדיין יכול לשאתו, וטווח הטיסה שלו כ-90 ק"מ. עלותו יותר מעשרת אלפים דולר, אך השימוש בו נחשב חסכוני ביחס לירי טילים מדויקים דוגמת טיל נ"ט מסוג ג'אוולין, שעלותו כ-78 אלף דולרים.

**רחפני DJI** – רחפנים אזרחיים מתוצרת סין, נפוצים מאוד בעולם כולו, מצויים בעיקר בשימוש של חובבים. בלחימה באוקראינה השימוש ברחפנים אלו מאפיין את שני הצדדים, אך השימוש באוקראיני בולט יותר בזכות הגיוס העצמאי שעשו, בחלק מן המקרים, לוחמים, יחידות או מתנדבים. האוקראינים משתמשים ברחפנים הללו למטרות מודיעין וסיוור, או הופכים אותם למערכות מאולתרות של נשק מדויק. האוקראינים גם מצאו דרך להשתמש באחד מן המאפיינים של רחפני DJI, כדי לזהות את מיקום מפעיליהם הרוסים ולפגוע בהם, כך שגם במקרה זה ידם על העליונה.

אחת מן הסיבות המרכזיות לשימוש של הרוסים במלחמה זו במל"טים איראניים וברחפני מדף היא הקושי לספק לכוחותיהם את הכמויות הנדרשות של מל"טים מתוצרתם. לעומת זאת, האוקראינים הפגינו יכולות של רכש בינלאומי ושל ייצור מקומי. תעשיית המל"טים האוקראינית הפגינה גם קפיצות מדרגה לאורך הלחימה – חברות מקומיות החלו לפתח ולשלב במערכותיהן בינה מלאכותית, הן לצורך מעקב אחר מטרות נעות והן לצורך מניעת השיבוש שניסו הרוסים לייצר באמצעות לוחמה אלקטרונית כבדה, וכך הפכו את המל"טים שלהם לעמידים ולקטלניים יותר.

אפשר לציין מתקפות כטב"מים בשלבים מתקדמים של הלחימה שמשייכות לאוקראינה (אך שהיא לא לקחה עליהן אחריות רשמית), ובהן פגעו כטב"מים במשרדים אפילו בתוככי מוסקבה או במוקדים אחרים בתוך רוסיה. אולם כל אלו לא סיפקו לאוקראינה יכולת הכרעה אסטרטגית.

### **רחפני FPV**

במחצית השנייה של השנה השנייה ללחימה החלו להופיע יותר ויותר סרטונים ברשת המדגימים שימוש קטלני בעיקר של האוקראינים ברחפני FPV (First Person view). אלו מופעלים על ידי אדם המרכיב משקפי מציאות מדומה עם אנטנה, המציגים לו את המרחב הפעולה שמצולם דרך מצלמות הרחפן. הרחפנים הללו בעלי יכולת ביצוע תמרונים אוויריים מורכבים וכניסה לחללים דרך פתחים קטנים דוגמת חלונות זעירים וארובות. טיסתם בין מכשולים מדויקת חרף מהירות אדירה של עד כ-200 קמ"ש. למרות יכולת נשיאת חימוש במשקלים נמוכים בלבד כגון רימון או מטען נפץ במשקל מאות קילוגרמים בודדים, מדובר באמצעי קטלני המופעל נגד אדם או חומר בעיקר כאשר הוא מתפוצץ בחללים סגורים כגון חדרים או טנקים.

נוכח הצלחת השימוש בכלים אלו הצהירו שני הצדדים אל תוכניות פיתוח ויצור מואצות שלהם כאשר מדובר במיליוני יחידות לשנה. חרף העובדה שכ-90% מהמשימות של רחפנים אלו מסוכל על ידי אמצעי לוחמה אלקטרונית, הפעלה שלהם במסות גדולות מאפשרת כמות יפה של פגיעות קטלניות בעלויות שהופכות את החלופות הקיימות בשוק ללא אטרקטיביות.

### השפעה על שדה הקרב העתידי

המלחמה הייתה בעיקר שעתן הגדולה של המערכות הפשוטות והזולות יחסית ושל החימושים המשוטטים. מומחים מעריכים לאחרונה כי מדובר במלחמת הכטב"מים הגדולה בהיסטוריה – השתמשו בה במאות כטב"מים מדי יום, ויותר מעשרת אלפים כטב"מים אוקראינים הושמדו (או התרסקו) מדי חודש. יתרה מזו, השימוש בכטב"מים מתקדם ומתפתח במידה ניכרת משבוע לשבוע במהלך המלחמה, משנה צורה ומשתלב עם טכנולוגיות אחרות. התבוננות מעמיקה יותר בדפוסי השימוש ובתוצאותיו מעלה כמה מסקנות כלליות יותר. ראשית, הלחימה באוקראינה מלמדת על אופן השימוש של גורמים לא מערביים בטכנולוגיות בלתי מאוישות, והוא מעין היפוך לאופן השימוש הרווח של דמוקרטיית מערביות בטכנולוגיות דומות – לצמצם נזק ופגיעה באזרחים באמצעות אמצעים מדויקים. זאת ועוד, השימוש של הרוסים בטכנולוגיות האיראניות במלחמה מלמד גם על שינוי ביכולות הייצור של שחקנים שלא נחשבו למובילים בתעשיית הכטב"מים, על הקלות והפשטות של ייצור מערכות אלו ושל הפצתן ועל השפעתן על הזירה הבינלאומית כולה. שנית, המלחמה באוקראינה מדגימה את חשיבותה של הכמות, בעיקר בהעדר איכות, וכן את השתנות האיום האווירי בן זמננו ואת הקושי הגדול לזהות וליירט כטב"מים ללא טכנולוגיות מתאימות וללא ותפיסות הפעלה ייעודיות. מן הפנייה של רוסיה לאיראן ומן ההצטיידות במערכות מתוצרתה אנו למדים כי אף על פי שכרגע לא ניכר שהכטב"מים מובילים לשינוי אסטרטגי במלחמה, הם וחימושים משוטטים מתאבדים הפכו לכלי חיוני בעבור כוחות לוחמים.

נראה גם כי מערכות ההגנה האוויריות שבידי הכוחות משני הצדדים אינן מספקות הגנה מוחלטת מפני תקיפות הכטב"מים, בין על כוחות בשטח ובין על אזורים עירוניים, וכי לאורך המלחמה ובעקבות הלמידה וההסתגלות למתקפות הכטב"מים השתנה מאוד אופן הפעולה שלהן בשני הצדדים. האוקראינים לדוגמה הפעילו יחידות קרקעיות כדי לכסות "שטחים מתים" שמערכות ההגנה האווירית המסורתיות אין מכסות.

מן השימוש המסיבי של שני הצדדים ברחפני DJI אנו למדים גם על שינוי גדול במגמות הרכש – במשך עשרות שנים העדיפו צבאות בעולם להשתמש בעיקר בפלטפורמות יקרות מתוצרת התעשיות הביטחוניות.

חשוב לציין גם כי הכטב"מ לרוב אינו אמצעי לחימה בפני עצמו, אלא אמצעי המשולב במערכת גדולה יותר. לדוגמה, באוקראינה כטב"מים מסוגים שונים מייצרים מודיעין עדכני ומכוונים את מרבית תקיפות הארטילריה המדויקות המבוססות על פגזים מתקדמים מונחי טכנולוגיות GPS.

יתרה מזו, השימוש הנרחב של שני הצדדים בכטב"מים וברחפני PFV מסחריים או מאולתרים, ועצם היותם כלים מרכזיים במלחמה, לעומת העדר שימוש נרחב בכוח אווירי קלאסי והעדר הישגים משמעותיים שלו, מעידים על שינוי פרדיגמה שעתיד להשפיע על שדות הקרב בעתיד. מדובר בעלייתן של מערכות זולות, פשוטות ולעיתים אף קטנות, בעיקר בהשוואה לכוח אווירי מאויש וגם בהשוואה לחלק גדול מן הכטב"מים המערביים. השילוב בין כלים צבאיים לכלים אזרחיים כמו גם השימוש במערכות נחותות יחסית דוגמת Shahed 136 האיראני, מעידים על שינוי בשיקולים של עלות-תועלת ועשויים להצביע על השתנות עתידית ניכרת בגישות לבניין הכוח של צבאות העולם. זאת ועוד, השילוב של טכנולוגיות כטב"מ עם טכנולוגיות בינה מלאכותית הוא קפיצת מדרגה נוספת ומכפיל כוח גדול.

### **מערכות בלתי מאוישות בממד הימי**

אחד מן המבצעים הבלתי מאוישים שזכו לסיקור נרחב יחסית בשלב מוקדם של המלחמה הוא מתקפת כלים ימיים בלתי מאוישים על הצי הרוסי בים השחור. המתקפה בוצעה בשילוב מתקפה מהאוויר, פגעה באוניית מלחמה רוסית והוכיחה כי יכולותיה של אוקראינה בתחום מתקדמות יחסית. הרוסים טוענים למעורבות טכנולוגיה בריטית בפעולה. מאז תועדו כ־12 תקיפות אוקראיניות בלתי מאוישות בים וככל הנראה מתקפה רוסית אחת. המטרות הן בסיסי צי, נמלים או כלי שיט. תחום זה צובר תאוצה במלחמה, בין השאר עקב העלות הנמוכה של כלי ימי בלתי מאויש לעומת עלותו של כלי מאויש. במלאת שנתיים למלחמה פוטר מפקד חיל הים הרוסי, עקב חוסר שביעות רצון מתפקודו, נוכח הטבעה של מספר גדול של ספינות רוסיות בים השחור, על ידי כלים צוללים בלתי מאוישים שהופעלו על ידי האוקראינים. הדבר מצביע על חשיבות השימוש בטכנולוגיות מתקדמות גם בממד מסורתי כמו הים.

## מערכות בלתי מאוישות בממד היבשתי

מגוון מערכות בלתי מאוישות משמשות במלחמה באוקראינה גם בממד היבשתי. לדוגמה, חברת הרובוטיקה האוקראינית TEMERLAND שחררה לשוק מערכת רובוטית אוספת ותוקפת בשם GNOM, המעוצבת כרכב נגד מוקשים ומותאמת להפעלה על ידי יחידות לוחמות. מדובר ברובוט במשקל של כ-50 ק"ג הנוסע על זחל קטן ומצויד במכשיר לזיהוי מוקשים ובתת מקלע; עם זאת, מידת האוטונומיות שלו מוטלת בספק. מלבדו סיפקה לאוקראינה חברת Milrem Robotics האסטונית כלים מסוג THeMIS – חלקם (שבעה נוספים) מיוצרים לפינוי נתיבים ("פתיחת צירים") – ועליהם מטענים ייעודיים, לרוב סנסורים, מתוצרת צרפת. לאחר מרדף של שנתיים ולאחר שהציעו פרס של 22,000 דולרים, הרוסים הצליחו כנראה לתפוס את אחד הרובוטים האסטוניים שסופקו לאוקראינה, וקיימת סבירות שהם ינסו לעשות הנדסה לאחור של המערכת ולהכניסה לשימוש גם ברוסיה ובקרב שותפותיה.

בפברואר 2023 סיפקה רוסיה לכוחותיה אספקה ראשונה של רובוטים מסוג Marker לתקיפת הטנקים האוקראיניים. מדובר בכלי רכב בלתי מאויש (כרב"ם) הדומה לטנק, אך איננו חמוש כמותו. הוא כולל חיישנים למעקב, מעטפת המאפשרת שיגור של כטב"מ ממנו וצריח הנושא מקלעים וטילים נגד טנקים. לטענת גורמים רוסיים, הכלים מצוידים ביכולות למידת מכונה המאפשרות להם לזהות מטרות אוקראיניות דוגמת טנקי אברמס האמריקניים או טנקי לאופרד הגרמניים, וכן מצוידים ביכולת תעודף מטרות. עד כה לא דווח האם נעשה שימוש מבצעי במערכת הזאת ומה היו הישגיה בקרב. עם זאת, אם המערכת אכן פועלת כפי שטוענים הרוסים, מדובר במערכת נשק אוטונומית לכל דבר ועניין, והיא עתידה להיות פורצת דרך בתחום שעדיין לא נעשה בו שימוש מבצעי מרובה.

לצד מערכות אלו אפשר למצוא רובוטים פשוטים לפירוק פצצות ורובוטים רוסיים דוגמת ה־Minesweeper, המבוסס על גופו של הטנק T-90 ונועד לפינוי מוקשים, ועוד מגוון רובוטים, חלקם נותרו חסויים כמובן, שהוכנסו לניסוי במלחמה בחסות מדינות ותעשיות בעולם. עם זאת, רשימות הכלים הבלתי מאוישים בממד היבשתי ובממד הימי קטנות במידה ניכרת מן הרשימה של כלים אלה בממד האווירי. הסיבה לכך היא שרבות מן המערכות עדיין אינן ברמת בשלות מספקת המאפשרת שימוש נרחב כמו בממד האווירי. כמו כן, איסוף מודיעין או הפעלת אש מן האוויר הם פתרון מספק המפחית את הצורך להשתמש במערכות כאלה בממד הקרקעי והימי.

ואולם הטכנולוגיות שבאו לידי ביטוי במלחמה באוקראינה מגבירות את הדאגה השוררת כבר למעלה מעשור בקרב ארגונים, בהם ארגוני זכויות אדם, בנוגע להתרחבות הפיתוח והשימוש במערכות נשק אוטונומיות המכונות גם "רובוטים רצחניים" – מערכות שפעולותיהן הקטלניות אינן נשענות על החלטה אנושית בזמן אמת.

### **בינה מלאכותית**

בינה מלאכותית היא ככל הנראה "הכוכבת" של המלחמה באוקראינה, בעיקר בשלביה המתקדמים יותר. היא מנוצלת רבות לניתוח תמונות לוויין, לאיתור ולניתוח של נתוני קוד פתוח ולשיפור יכולות המודיעין של הכוחות הלוחמים. חברות רבות הפועלות לסייע לרוסיה ולאוקראינה מקבלות הזדמנות לבדוק ולהדגים את יכולותיהן. בעקבות השימוש הגובר בישומי בינה מלאכותית ובעקבות הטמעתם במערכות אחרות מתאפשר, כפי שלא התאפשר בעבר, חיבור של חיישנים, של פלטפורמות ושל כוחות ופריסתם בסביבה מרושתת. הלוחמה מן הסוג הזה מכונה "לוחמה אלגוריתמית".

ניכר כי השימוש של האוקראינים בבינה המלאכותית עדיף על השימוש של הרוסים. שימוש ביישומי בינה מלאכותית ובמאגרי מידע אפשר לאוקראינה גישה לשירותי מודיעין רבי עוצמה, בכלל זה יכולת להתעדכן בזמן אמת על איומים רוסיים פוטנציאליים. בין השאר ניצלו הכוחות האוקראינים את השימוש הרחב שעשו חיילים רוסיים באמצעי תקשורת לא מוצפנים. המידע נאסף, תומלל ונותח באמצעות שירותי בינה מלאכותית שמספקת להם חברת Primer, וכך יכלו האוקראינים לזהות מידע רלוונטי באמצעות חיפוש בטקסט. השימוש בטכנולוגיה מאפשר מהירות ויעילות שאי אפשר להשיג באמצעות חיפוש ועיבוד אנושיים. האוקראינים השתמשו גם בטכנולוגיות לזיהוי פנים, בהן הטכנולוגיות הזמינות לציבור הרחב של חברת Clearview AI, ושילבו אותן עם חיפוש ברשתות החברתיות. הטכנולוגיות מסייעות לאוקראינים לזהות חיילים רוסיים, חיים או מתים, ולדווח עליהם, וכן למנוע כניסת גורמים עוינים למדינה באמצעות זיהוי של חשודים בריגול.

שימוש נוסף בבינה מלאכותית נעשה בטכנולוגיות לזיהוי ולפיענוח תמונות. חברת Scale AI פועלת מאז מארס 2022 כדי לסייע לאוקראינים להבין היכן התרחשו תקיפות רוסיות וכדי להעריך את הנזק במהירות ובדיוק גבוהים יותר ממה שדיווח אנושי מאפשר. על פי הדיווח של החברה עצמה, מאגרי המידע ויכולות הזיהוי והפיענוח שיצרה נתרמו לכוחות האוקראינים, והם עושים בהם שימוש בזמן אמת. לטענת אחד מן המנהלים בחברה, התוכנה יכולה גם לסייע באבחון ובזיהוי של אמצעי הלחימה שנעשה בהם שימוש,

על פי אופי הנזק ובאמצעות יכולות ניתוח אחרות. כל אלו יחד מדגימים שימוש מלחמתי בטכנולוגיות הנחשבות טכנולוגיות מדף פשוטות, זולות וזמינות יחסית.

### שימושים בבינה מלאכותית במלחמה באוקראינה



במאמר מפרברואר 2023 תואר בהרחבה גם שימוש בטכנולוגיות מידע מערביות, בעיקר בבינה מלאכותית ובמערכות מעקב אוטונומיות, המסייעות לאוקראינים להילחם בכוחות הרוסיים.<sup>1</sup> במאמר הודגשה במיוחד מעורבותם של שני יזמים אמריקנים התורמים תרומה ניכרת לצבא האוקראיני באמצעות הגישות החדשניות והלא שגרתיות שלהם. היזם הראשון הוא פאלמר לאקי (Palmer Luckey); הוא הקים את חברת Anduril ב־2017, והיא מספקת

Schumpeter, "AI-wielding tech firms are giving a new shape to modern warfare", *The Economist*, February 16, 2023, <https://bit.ly/3F1Ucgy>



מערכות אוטונומיות לאוקראינה. היזם השני הוא אלכס קארפ (Alex Karp); הוא הקים את Palantir, חברת תוכנה המספקת תשתית דיגיטלית ללקוחותיה ומאפשרת ניתוח של מאגרי מידע עצומים והפקת ערך מהם. לפי טענתם של שני היזמים הללו המערכת המסורתית הפכה לבלתי יעילה, בין היתר בגלל גודלה ובגלל הבירוקרטיה המאפיינת אותה המקשות עליה להתעדכן ולהסתגל לקצב השינויים ואיומים בני זמננו דוגמת המלחמה באוקראינה דורשים. עניין זה מסמל שינוי פרדיגמה בתחום בניין הכוח.

אחד משירותי התוכנה שמספקת Palantir הוא מעקב בזמן אמת אחר התפתחויות במלחמה. אוקראינה אוספת מידע על תנועת חיילי האויב במערכת המאפשרת מודעות מצבית (situational awareness system), ועל בסיסה הצבא קובע את דרך פעולתו. המערכת מאפשרת ניתוח מידע שנקלט באמצעות לוויינים ומדיה חברתית כדי ליצור, לדוגמה, הדמיה של עמדות הצבא הרוסי. ראוי לציין כי הטכנולוגיה של Palantir היא דו-שימושית – יש לה ערך ושימושים ביטחוניים, אך היא משמשת גם מגוון רחב של חברות ושל לקוחות אזרחיים.

במאמר מתוארת גם היכולת שהפגינו האוקראינים כשהיכו באש מדויקת שהופעלה מטווח רחוק את הכוחות הרוסיים שהיו בתנועה באזור חרסון. יכולת זו התאפשרה בזכות מידע שעובד על ידי NATO ולאחר מכן הועבר למפקדים האוקראינים בשטח. ההערכה היא שבכל אירוע שהאוקראינים פוגעים בפיקוד הרוסי או במחסני האספקה הרוסיים, התקיפות מבוססות על מידע שעובד באמצעות בינה מלאכותית וסופק להם. לטענת המאמר הרוסים ניסו להשיג גם הם יכולות דומות, אך נכשלו.

ובצד השני – הרוסים טוענים לשימוש בבינה מלאכותית מתקדמת במוקשים שפרסו במהלך המערכה בניגוד לדין הבינלאומי. לטענתם מוקשים מסוג POM-3 "Medallion" מתוצרתם מסוגלים להבחין בין לוחמים למי שאינם לוחמים, כגון חקלאים שעשויים לעבור באזורים שהמוקשים פרוסים בהם. לו טענה זו הייתה תקפה, היא הייתה מכשירה לכאורה מוקשים שהשימוש בהם נאסר באמנה משנת 1997, שחתומות עליה 164 מדינות. מומחים מאוניברסיטת ג'ון הופקינס טוענים כי היכולת להבחין בין חייל לחקלאי באמצעות בינה מלאכותית היא כמעט בלתי אפשרית ודורשת איסוף של כמויות מידע עצומות ואימון רב של האלגוריתם. לשיטתם עניין נוסף המעיד כי הטענה הרוסית אינה אמינה הוא העדר שימוש משמעותי אחר של הרוסים בבינה מלאכותית.

ניכר כי השימוש הבולט ביותר בבינה מלאכותית הוא ביצירת מודיעין גיאומטרי לניתוח תמונות לוויין וסוגי מדיה אחרים. לנוכח מצבם בפתיחת הלחימה הפתיעו האוקראינים בשימוש

מתקדם יחסית בבינה מלאכותית המזכיר יכולות מערביות מתקדמות לאיסוף, להתכח של כמויות אדירות של מידע ולהפיכתו למודיעין מבצעי. אף על פי שהיכולות האוקראיניות אינן זהות בעוצמתן ובאיכותן ליכולות של מדינות מתקדמות בתחום, דוגמת ישראל וארצות הברית, אוקראינה משיגה את רוסיה בתחום, בין היתר עקב תמיכתן של חברות אזרחיות ותמיכתה של ברית נאט"ו – נתון המעניק לה יתרון על פני הרוסים בשדה הקרב. שני שיעורים חשובים נוספים נלמדו במערכה זו. הראשון הוא על עוצמתן האדירה של חברות אזרחיות ושל טכנולוגיות מדף בתחום. היא מחייבת מחשבה מעמיקה על תהליכי פיתוח ובניין כוח עתידיים בכל צבא מתקדם המנהל תהליכי פיתוח ארוכים עם התעשיות הקלסיות. השני הוא על חשיבותן של חברות טכנולוגיות בינלאומיות בעלות אמצעים והשפעה, שהפכו במלחמה הנוכחית לגורמים חשובים, לעיתים יותר ממדינות, בעיקר כשמדובר בחברות השולטות במשאבים קריטיים הדרושים למדינות, כגון רשת האינטרנט, מאגרי מידע ותוכנות בסיסיות, אך גם בחברות המפתחות יישומי בינה מלאכותית מתקדמים. בדיווחים שהופיעו במלאת שנתיים למלחמה נטען כי הרוסים משתמשים בבינה מלאכותית על גבי רחפנים. הדבר נועד להתגבר על מכשולי הלוחמה האלקטרונית בזירה ולאפשר לכלים לתקוף באופן אוטונומי ללא תלות בתקשורת עם מפעיל אנושי. אם הדיווחים נכונים מדובר דה־פקטו בתיעוד לשימוש במערכות נשק אוטונומיות, והדבר עלול להשפיע גם על מדיניות של מדינות אחרות בתחום שנוי במחלוקת זה.

### טילים היפר־סוניים

על פי דיווח של סוכנויות הידיעות ובהן רויטרס, באוגוסט 2022 הצהיר שר ההגנה הרוסי כי רוסיה השתמשה לפחות שלוש פעמים בטיל היפר־סוני מסוג Kinzhal עוד לפני תחילת הפלישה לאוקראינה.<sup>2</sup> טילים היפר־סוניים נעים במהירות הגבוהה מחמש מאך (פי חמש ממהירות הקול), והם בעלי יכולת של תמרון אווירי ושל תנועה בלתי צפויה המאפשרת להם להתחמק מיירוט. ה־Kinzhal לדוגמה מסוגל להאיץ למהירות של עשר מאך, להגיע לטווח של 1250 מייל, ואף לשאת ראש קרב גרעיני; אפשר לשגר אותו מן הקרקע באמצעות משאיות שיגור, ומן האוויר באמצעות מטוסי מיג־31.

דגם אחר שנמצא בידי הרוסים הוא האוונגארד (Avangard) – טיל בין יבשתי במשקל של כשני טון היוצא מן האטמוספירה במסלול התעופה שלו. מלבד יכולתו לשאת ראשי

Reuters, "Russia says it has deployed Kinzhal hypersonic missile three times in Ukraine", 2 August 21, 2022, <https://bit.ly/3tiGPJj>

קרב רגילים, הוא מסוגל גם לשאת ראשי קרב גרעיניים המקבילים בעוצמתם ליותר משני מגה טון של TNT. האוונגארד משוגר מן הקרקע ומגיע למהירות גדולה במיוחד של עד 27 מאך. כמו כן יש ביכולתו לבצע תמרונים חדים באטמוספירה אשר נכון לכתיבת שורות אלו הופכים אותו לחסין בפני מערכות ההגנה האווירית נגד טילים הפועלות כיום; עם זאת, לרוסים יש רק יחידות בודדות מטיל זה.

לפי דובר פיקוד חיל האוויר של אוקראינה יורי איהנאט, הרוסים החלו את הפלישה עם מצבור של כ-40–50 טילי Kinzhal, ונכון לזמן כתיבת המאמר הם השתמשו בכ-20 מהם. יודגש כי גם השימוש בנשק זה לא הניב הישגים אסטרטגיים לרוסים. עם זאת, אי אפשר להתעלם מן העובדה שאוקראינה סובלת מפגיעות רבות, וניכר כי הטילים ההיפר-סוניים תורמים להרס ולהרג הנרחבים. מלכתחילה לא הייתה ההגנה האווירית האוקראינית ברמת תפקוד וכיסוי גבוהה, עובדה המעצימה את איום הטילים.

בשלבם מתקדמים יותר בלחימה דיווחו האוקראינים כי הצליחו ככל הנראה ליירט מתקפה של טילים היפר-סוניים באמצעות שימוש במערכת הפטריוט האמריקנית. הדבר מעיד על עדכון של המערכת ועשוי להיחשב חדשות טובות בעיני מדינות מערביות המצוידות בפטריוט או במערכות בעלות טכנולוגיות מתקדמות יותר, שכן עד כה היה מקובל לייחס לטילים ההיפר-סוניים יכולת התחמקות ממערכות ההגנה האווירית המקובלות.

### **סיכום ומסקנות: תפקידה של הטכנולוגיה במלחמה באוקראינה ומשמעויות לישראל**

שדה הקרב באוקראינה רווי בטכנולוגיות מתקדמות. לנוכח העובדה שחלק גדול של המלחמה מתנהל ממש בשידור חי, בעיקר ברשתות החברתיות, מתאפשרת למידה מיד ראשונה על הרבה מן המתרחש שם.

הטכנולוגיות המתקדמות שאת חלקן סיפקו חברות אזרחיות, הנחישות האוקראינית והיכולת של אוקראינה להסתגל ולהטמיע במהירות את השימוש בטכנולוגיות בקרב הכוחות הלוחמים, אפשרו לאוקראינה לצמצם מאוד את הפער הכמותי בינה ובין רוסיה בגודל הכוח ובגודל ההוצאה לביטחון. הצלחה זו אף השפיעה על המחשבות לעתיד של האוקראינים. מייקלו פדרוב, שר הטרנספורמציה הדיגיטלית האוקראיני, הצהיר על כוונה "להפוך את אוקראינה לעמק הטכנולוגיה הצבאית (mil-tech) העולמי, כדי שיפתחו בו הפתרונות הביטחוניים המתקדמים ביותר מתוך שאיפה להפוך את העולם למקום בטוח ודיגיטלי יותר"<sup>3</sup>.

David Ignatius, "How the algorithm tipped the balance in Ukraine", *The Washington Post*, 3 December 19, 2022.

הלקחים מן המלחמה באוקראינה בכל הנוגע לכטב"מ הפכו מעשיים מאוד לישראל מאז תחילתה של מלחמת "חברות ברזל". מערכות אוויריות בלתי מאוישות איראניות, חלקן זהות לאלו המופעלות על ידי הרוסים נגד אוקראינה, מופעלות גם על ידי חיזבאללה בגבול הצפון. הכטב"מים הללו הצליחו בחלק לא קטן מן המקרים, בעיקר מאז מאי 2024, לחמוק ממערכות הגילוי והיירוט הישראליות. העובדה שחיזבאללה הצליח להשתמש בכטב"מים כדי להשיג מספר ניכר של פגיעות בנפש וברכוש (כולל במערכות אסטרטגיות) בצד הישראלי, מלמדת כי מדובר בבעיה עולמית הולכת ומתרחבת, ממנה סובלים אגב גם בסיסים וכוחות אמריקאים במזרח התיכון.

ועדיין, למרות שישאל טרם התאימה בצורה מספקת את מערכתה ושיטותיה ההגנתיות אל מול השתנות האיום האווירי, מדובר במדינה בעלת יכולות טכנולוגיות מתקדמות בתחום ועל כן יש לרתום את כל המשאבים והכשרונות הרלוונטיים כדי לפתח, לייצר ולהדגים פתרונות טכנולוגיים ומבצעיים בכדי להוביל לשיפור בהצלחות אל מול האיום האווירי הבלתי מאויש. מלבד תרומה פוטנציאלית משמעותית לביטחונה של ישראל, הדבר עשוי להשיא גם תרומה ניכרת לכלכלתה ולמעמדה הבינלאומי.

יש גם לשפר ולהעצים את היכולות בתחום הבינה המלאכותית. המרוץ העולמי בתחום מתעצם עקב הדגמת חשיבותה של טכנולוגיה זו באוקראינה ותורם לשחיקת מעמדה של ישראל בתחום. יש לבחון כיצד עשויים יריביה של ישראל, מדינתיים ולא מדינתיים, להשתמש בבינה מלאכותית, בעיקר במוצרי מדף, ולהסיק מסקנות מן השימוש הנרחב של שני הצדדים ברחפנים ובחימושים משוטטים.

אחד מן הלקחים החשובים הוא הצורך להשתנות ולהסתגל מהר. הוא מחייב בחינה של תהליכי פיתוח, רכש, ייצור, הטמעה ומבצוע של מערכות ושל אמצעי לחימה בכל הדרגים – תעשיות ביטחוניות, מערכת הביטחון וצה"ל. יש למצוא פתרונות לקיצור תהליכים, להוזלת מחירים ולייצור המוני.

יש לתת את הדעת גם לחשיבותן של חברות הטכנולוגיה הגדולות, שהפכו לשחקניות בינלאומיות רבות עוצמה ולא היססו להשתמש בטכנולוגיה כדי לעזור לאוקראינה. ישראל שמה חלק גדול ממבטחה הביטחוני בטכנולוגיה, ועליה לבחון היטב את יחסיה עם שחקנים אלו ואת האופן שבו היא נתפסת על ידם, ולהכין תוכניות מגירה ואולי אף פתרונות מדף לאתגרים שעשויים לצוץ מן הכיוון הזה.