

לוחמה ממונפת בינה מלאכותית

השילוב של הבשלת יכולות העיבוד, הוזלת המרכיבים והניסיון המבצעי המצטבר עשוי לייצר את התנאים ללוחמה ממונפת בינה מלאכותית בעתיד הנראה לעין. לוחמה כזאת כנראה לא תביא למהפכה נוספת בעניינים צבאיים, אך מי שישכיל לזהות ולנצל את הפוטנציאל שלה יוכל להשיג יתרון על אויביו בעימותים עתידיים. גם אם המוניטין של מערכות אלה לא ישתפר, צמצום הנזק האגבי ידבר בעד עצמו

לבצע הרכשה עצמית של מטרות, כדי לתקשר אלה עם אלה, לחלוק ביניהן מטרות ולהתאים באופן המיטבי חימוש למטרה עם מעורבות אנושית מזערית. לוחמה כזאת תוכל לסייע לקזז את הנחיתות הכמותית שממנה ישראל סובלת ביחס לחלק מאויביה.

מערכת נשק אוטונומית היא מערכת נשק הפועלת באופן אוטונומי, ללא מודעות מצבית משותפת בין האדם למכונה התבונית.¹ מערכת כזאת יכולה להיות מבוקרת על ידי מפעיל אנושי שיכול להתערב בפעילותה (מכונה "אוטונומית למחצה", או "בינה מלאכותית מבוקרת"), או לפעול ללא בקרה ויכולת התערבות אנושית ("אוטונומיה מלאה").² משרעת רחבה של רמות אוטונומיה משפיעה על ממשק אדם-מכונה, ודיון מעמיק בה חורג ממסגרת מאמר זה.³

במאמר זה נדון במערכות נשק ובחימושים אוטונומיים ואוטונומיים למחצה, בעלי יכולת הרכשה עצמית של מטרות. ההרכשה העצמית נעשית באמצעות חיישנים (סנסורים) פסיביים (כמו מקלטי רדיו או עדשות אלקטרו־אופטיות) או אקטיביים (כמו מכ"מים ששולחים גלי רדיו לגילוי עצמים), ומחשבים שמפענחים ומעבדים את האותות הנקלטים בחיישנים ומזהים את המטרות בהתאם ללוגיקה שהוגדרה בהם מראש. מערכת כזאת יכולה לפעול גם בלי התערבות של מפעיל אנושי, והיא אוטונומית מרגע הפעלתה.⁴ מערכות אלה יכונה "אוטונומיות-משוטטות".

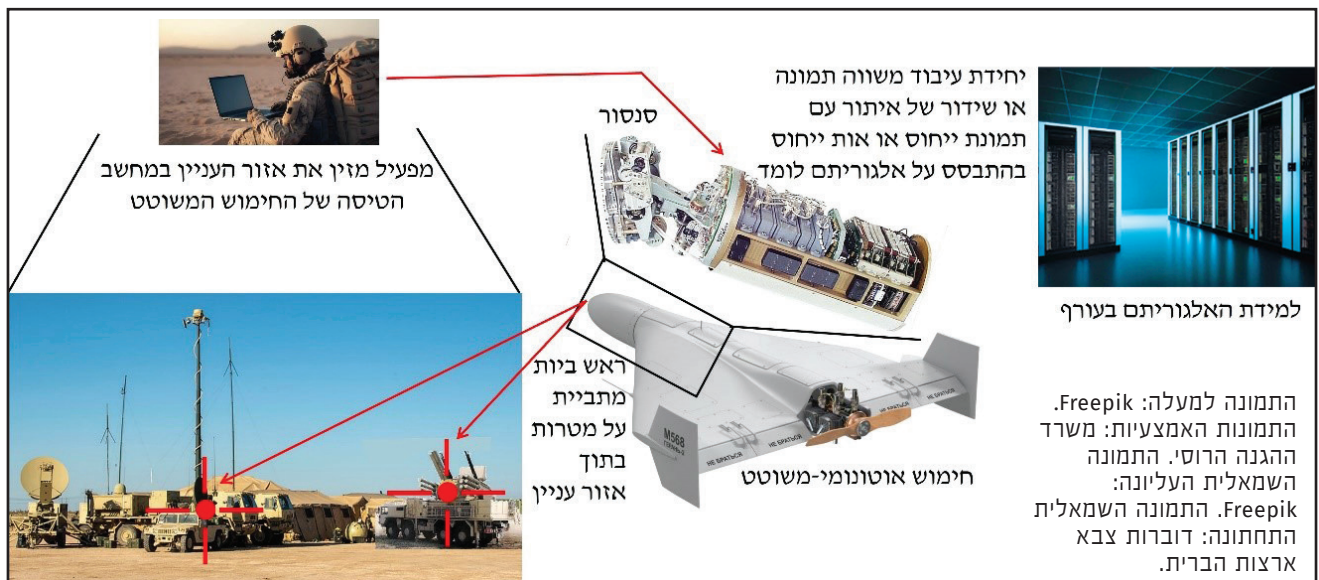
"סידרתנו 'יסודות תורת האלקטרוניקה' [...] נכתבת בשלהי תקופה תוססת והרת התפתחויות באלקטרוניקה. התקדמות זו, כמה פנים לה: גלויים, חידושים, תפיסות חדשות [...] ההתפתחות המהפכנית באה לידי ביטוי מובהק בשטח המוליכים למחצה במיוחד, הן מבחינה טכנולוגית והן מבחינת המשמעות המעשית הקיצונית [...] ושימושם בכל ענפי המדע". מההקדמה לספר 'יסודות תורת האלקטרוניקה', הוצאת השלוח ירושלים, 1969.

במהלך המאה ה-21 חלו תמורות טכנולוגיות וחברתיות בארץ ובעולם. רגישות לנפגעים, שמובילה לרצון להרחיק את האדם משדה הקרב במערכים מסייעים, לצד התפתחויות באלקטרוניקה, במחשבים, בתקשורת ובלמידת מכונה מאפשרות לדון באופן שבו אפשר לשלב לוחמות מסוגים חדשים.

המאמר מציע מסגרת רעיונית ללוחמה שאפשר ליישם באמצעות מערכות נשק אוטונומיות-משוטטות, להתריע מפני הגבלה עצמית של פיתוח מערכות נשק כאלה ולהזהיר מפני אימוץ הרעיון טרם הבשלתו. כמו כן, יוצגו המלצות לדרכי התמודדות עם חלק מהאתגרים שללוחמה כזאת עשויה להביא עימה.

המושג המוצע במאמר הוא "לוחמה ממונפת" (leveraged warfare). מדובר בלוחמה המבוססת על מערכות נשק אוטונומיות ומשוטטות או אוטונומיות למחצה ומשוטטות. מערכות כאלה יאפשרו למנף את יכולות העיבוד שלהן כדי

תרשים 1 - עקרון הפעולה של חימוש אוטונומי-משוטט





רס"ן ד', ראש תחום בחטיבת המחקר,
לשעבר קמ"ן במערך מודיעין השדה ורמ"ד
תו"ל סיוע קרבי בזרוע היבשה. בוגר
המכללה לפיקוד טקטי (2011) ולימודים
מתקדמים באוניברסיטת בר-אילן

במלחמת רוסיה-אוקראינה, שהתחילה בפברואר 2022 וטרם הסתיימה נכון לכתובת המאמר, שני הצדדים טוענים לשימוש נרחב בחימושים משוטטים לפגיעה במטרות מכל הסוגים. בפועל, הצדדים לא סיפקו הוכחות לכך שהמערכות האלה באמת אוטונומיות ופועלות ללא ניהוג ידני.¹¹

במהלך מלחמת "חרבות ברזל", שפרצה באוקטובר 2023 וטרם הסתיימה נכון לכתובת המאמר, איראן וגורותיה (החות'ים בתימן, מיליציות שיעיות בעיראק וחזבאללה) שיגרו מאות כטב"מי נפץ וטילי שיוט לעבר ישראל ויעדים ישראליים ואמריקניים במזרח התיכון.¹² בחלק מהמקרים החימושים האלה פגעו באופן מדויק מאוד במטרות כמו בית ראש הממשלה, בלון טל שמיים וחדר האוכל של בא"ח גולני, וגרמו לנפגעים ולנזק.¹³ אפשר להעריך כי לחלק מהחימושים יכולת הרכשה עצמית של מטרות.

מהתפתחות החימושים האוטונומיים-משוטטים אפשר לראות כי השימוש בהם מוגבל בעיקר למטרות קורנות או בעלות צורה אופיינית כמו טנקים, שמאפיינות צבאות מדינתיים. זאת בעיקר בשל הפשטות לבצע הרכשה עצמית של מטרות מסוג זה. ההתפתחות המואצת של מערכות לומדות, הירידה במחירים של סנסורים ומעבדים, תפוצתם הרבה והנגישות הפשוטה אליהם (רובם ככולם רכיבים "אזרחיים" שאפשר לרכוש ללא פיקוח), בשילוב עם הניסיון המצטבר בשימוש המבצעי בהם, עשויים להאיץ את הבשלתן של מערכות אוטונומיות-משוטטות בעתיד הקרוב, ולעשות בהן שימוש נרחב לפגיעה במטרות ניידות, חסרות צורה אופיינית.¹⁴ את ההטמעה האיטית של המערכות האוטונומיות אפשר להקביל לתהליך ההטמעה של כלי הירייה בצבאות העולם, שנמשך מאות שנים. הטמעת כלי הירייה הואצה עם פיתוח מנגנוני טעינה פשוטים כבדים ומחסנית, במלחמות העולם. גם הטנקים, שהיו תחילה מגושמים ומסורבלים לתפעול, הפכו מתקדמים יותר בתפר שבין מלחמות העולם ואפשרו את הלוחמה הממוכנת ואת לוחמת השריון, שהמשיכה להיות מקובלת עד תחילת המאה ה-21.¹⁵ לפיכך, שדרוג של מערכות נשק אוטונומיות-משוטטות ופיתוח של תפיסות ותורות לחימה מתאימות יאפשרו לנקוט שיטות לחימה נוספות בעתיד הקרוב.

לוחמה ממונפת בינה מלאכותית - מכפיל כוח בוסנציאלי בתשלובת מודיעין ואש

שימוש נרחב בחימושים ובמערכות נשק אוטונומיות-משוטטות (כלים אוטונומיים בעלי יכולת הרכשה עצמית של מטרות) יאפשר להציע את המושג "לוחמה ממונפת" (leveraged warfare). "מינוף" הוא שימוש במשאבים נתונים להשגת משאבים רבים יותר. עקרון המינוף שימושי במערכות הידראוליות שבהן אפשר למנוף כוח פיזי קטן באמצעות לחץ הידראולי (חוק פסקל) להרמה של משאות כבדים; וגם במערכות חשמליות שבהן אפשר למנוף זרם חשמלי חלש באמצעות ממסר אלקטרומגנטי לפיקוד על מערכות חשמליות שפועלות בזרם חזק. בתחום הפיננסי, המונח "מינוף" משמש בעיקר לתיאור היחס שבין גובה ההלוואות לבין ההון העצמי במימון של מיזמים. ככל שהיחס בין ההלוואה להון העצמי גבוה יותר כך המינוף גבוה יותר.

בלוחמה ממונפת, המינוף בשדה הקרב יושג באמצעות מערכות אוטונומיות בעלות יכולת הרכשה עצמית של

השימוש בחימושים אוטונומיים למחצה התחיל בשנות ה-60 של המאה ה-20, בעיקר בדמות טילים עם רב"תים (ראשי ביות) שאיתרו מכ"מים הפולטים קרינה אלקטרומגנטית ואשר מכונים ARM - (Anti-Radiation Missiles), וטילים מונחי חום שראשי הביות שלהם איתרו מנועים של כלי טיס.⁵ הרב"תים של טילים אלה אפשרו להם להתבית באופן עצמאי על מטרות קורנות כמו מכ"מים של סוללות נ"מ, של יחידות בקרה אווירית ושל כלי נְיִט (בשל יכולת העקיבה העצמית שלהם כונו טילים אלה "שגר ושכח"). בשלהי שנות ה-60 נעשה בהם שימוש נרחב על ידי חילות האוויר של ישראל וארצות הברית, במלחמת ההתשה ובמלחמת וייטנאם, לנטרול סוללות נ"מ ניירות באמצעות השמדת המכ"מים שלהן.⁶ בתגובה פותחו תרגולות להתמודדות עם טילים נגד קורנים, והואץ פיתוח של מערכות מכ"ם ניידות ושל גע"שים (גילוי-עקיבה-שיגור, כינוי למערכות נ"מ המבוססות על כלי נייד בעל יכולת גילוי וירוט עצמית).⁷

בשנות ה-80 של המאה ה-20 פותחו חימושים משוטטים (מכונים גם "כטב"מים מתאבדים" או "כטב"מי נפץ") בעלי יכולת הרכשה עצמית של מטרות, כמו ה"הארופ" הישראלי. חימושים אלה נועדו בעיקר לאיתור ולהשמדה של מטרות בעלות צורה אופיינית כמו רק"ם ומערכות נ"מ ביעד מוגדר.⁸

מערכות כאלה יאפשרו למנוף את יכולת העיבוד שלהן כדי לבצע הרכשה עצמית של מטרות, כדי לתקשר אלה עם אלה, לחלוק ביניהן מטרות ולהתאים באופן המיטבי חימוש למטרה עם מעורבות אנושית מזערית. לוחמה כזאת תוכל לסייע לקזז את הנחיתות הכמותית שממנה ישראל סובלת ביחס לחלק מאויביה

בשלהי שנות ה-90 פותחו מערכות נשק מבוססות אלגוריתם תמונה. בבסיסן תוכנת מחשב, שמשווה בין תמונת הייחוס של המטרה שהוזנה בה מראש ובין התמונה הנקלטת בסנסור של החימוש. לימים נהיו אלה בסיס למערכות לומדות, "AI", ואף למערכות שמשלבות גילוי מכ"ם אקטיבי עם תמונה.⁹ בתגובה להטמעת טכנולוגיות ואמצעים אלה חלה האצה בשימוש במטרות דמה להרוויה של שדה הקרב במטרות, בעיקר כלקח ממלחמות המפרץ (1991, 2003) ומהמלחמה ביוגוסלביה (1999).¹⁰

במהלך מלחמת גורנו-קרבאך (2020), צבא אזרבייג'אן עשה שימוש נרחב במערכות אוטונומיות כמו ההארפי הישראלי (כונו "כטב"מים מתאבדים") לפגיעה במטרות ניירות וניידות בארמניה. מטרות אלה כללו נכסים חיוניים כמו מכ"מים של מערכות נ"מ, אתרי פו"ש ורק"ם ומטרות רכות אחרות.

תוך התאמה מיטבית של חימוש למטרה, ובכך יאפשרו למנף לא רק את העוצמה אלא גם את מרכיבי הזמן והמידע של העשייה הצבאית.¹⁹

היישום של הלוחמה הממונפת יאפשר לפגוע במטרות רבות ומרוחקות באמצעות כמות מזערית של אנשי מבצעים-מודיעין (מתכננים ושולטים) במפקדות, ושל לוחמים ותומכי לחימה (אספקה ואחזקה) בשטח (מבצעים). בלוחמה כזאת, מרכז הכובד יעבור מפיקוד ושליטה על כוחות לפיקוד ושליטה על יכולות באמצעות תכנות של רב"תים, הזנת יעדים (יעדי איסוף ויעדי תקיפה, או "אזורי עניין") ותכנון נתיבי טיסה שיוכלו לעבור טיוב באמצעות מערכות מבוססות בינה מלאכותית. אפשר להעריך שלוחמה כזאת תאפשר לממש מבצעי אש עם מודיעין מועט שצריך להספיק להזנת אזורי עניין, תוך נקיטת גישת פיקוד משימה המתאימה לשדה הקרב הכאוטי.²⁰ זאת בשונה מהמצב הקיים, שבו מבצעי אש דורשים מודיעין מדויק ועדכני (לכל מטרה, על מרכיביה), ושננקטת בהם גישת פיקוד ריכוזית ומבוססת אישורים. אם מערכות הנשק האלה ידרשו אחזקה פשוטה וזולה והתכנות שלהם יהיה פשוט ואינטואיטיבי הרי ההיקף המצומצם של כוח האדם הדרוש לתפעולן יאפשר לממש את עקרון זהות המתכנן-מבצע גם במבצעי אש - בשונה מהמצב הקיים, שבו במבצעי אש העיקרון הזה לא מתקיים, ויש הבחנה בין מתכננים, מבצעים ושולטים.²¹ לפיכך יישום לוחמה זאת יאפשר למנף גם את מרכיבי האדם בעשייה הצבאית, ולמקד את הכוחות הלוחמים לתפקודים ולמשימות שרק הם יכולים לעשות, כמו כיבוש שטח.

מטרות - מכוונות תבניות המבוססות על מערך של חיישנים וכושר עיבוד מתאים עם למידת מכונה. באופן זה, מפעיל בודד יוכל להזין בכמה מערכות נשק או בכמה חימושים במקביל יעדים ("אזורי עניין") שבהם המערכות יאתרו את המטרות ויתקפו אותן. הדבר יאפשר לפגוע במטרות רבות, ניירות וניידות - בעלות חזות צבאית או אזרחית, בכל ממדי הלחימה במקביל. את הלוחמה הממונפת אפשר יהיה לשלב כמעט בכל לוחמה (לוחמת לילה, לוחמת סגורות, לוחמה אלקטרונית ועוד), בכל צורות הקרב (הגנתיות והתקפיות) ומצבי היסוד (מגננה ומתקפה).¹⁶

לוחמה זאת תסייע לצה"ל למנף את עוצמתו באופן שיביא לקיזוז היתרון הכמותי שהמערכת היריבה נהנית ממנו, ותגדיל את הפער האיכותי של צה"ל שהולך ומצטמצם בעשור האחרון.¹⁷ כשה"מנוף" הוא ה"מוח" המודולרי של המערכת האוטונומית שמורכב מחיישנים ומיחידת עיבוד, אפשר להרכיב אותו על חימושים משוטטים שיכולים לשהות מעל המטרה לאורך זמן, וגם על כאלה שלא יכולים "לשוטט" ורגישים יותר לעיתוי השיגור שלהם. לוחמה זאת יכולה אומנם להתכתב עם תפיסת ה-SOI (Stand Off In), בשל השימוש במערכות לא מאוישות, אך היא שונה ממנה. ה-SOI מבוססת על מערכות נשק שמופעלות מרחוק באופן שוטף על ידי מפעיל אנושי, ואילו בלוחמה ממונפת אין הכרח שהיה מפעיל ה"משועבד" למערכת.¹⁸ מנייתוח הלוחמה הממונפת דרך אבני היסוד של העשייה הצבאית אפשר להציע כי שימוש משולב ומושכל במערכות משוטטות ובמערכות לא משוטטות שיתקשרו אלה עם אלה, ירכישו מטרות זו עבור זו ויתעדפו את תקיפתן,

תרשים 2 - היחס בין כמות האנשים הנדרשים להפעיל את אמצעי הלחימה בלוחמה ממונפת לעומת לוחמה שאינה ממונפת





מסק"ר של חיל האוויר מפיל כטב"ם נפץ באמצעות תותח במהלך "חרבות ברזל". ראשי הבית מאפשרים להם להתבטח באופן עצמאי על מטרות קורנות כמו מכ"מים של סוללות נ"מ, של יחידות בקרה אווירית ושל כלי שיט. צילום: דו"ץ

התמודדות עם אתגרים ועם ביקורת

"כיום אנחנו נלחמים נגד המעצמות הגדולות בהיסטוריה, ולכן עלינו להתעצם. אנחנו איתנים בערכים ובעקרונות שלנו, אבל אנחנו לא שמרנים בשיטות הלחימה שלנו. עלינו להשתנות מידי יום כי העולם משתנה כל הזמן. אנחנו פועלים בעולם שלא רק לא משתף איתנו פעולה אלא נלחם בנו [...] עלינו להתקדם מאוד בתחום הבינה המלאכותית, וזה אחד הדגשים ואחת ההנחיות של המנהיג העליון. משמרות המהפכה צריכים להתמקד בבינה המלאכותית ולהשתמש בטכנולוגיה הזאת בכל ממדי הלחימה".

גנרל חסין סלמי, מפקד משמרות המהפכה של איראן, בריאיון לעיתון "כיהאן", 18 בספטמבר 2024.

בעוד השימוש במערכות מבוססות בינה מלאכותית במגזר האזרחי ממילא שנוי במחלוקת,²² הולכות ומתגברות הקריאות לאסור או להגביל את השימוש במערכות מבוססות בינה מלאכותית ובמערכות אוטונומיות במגזר הצבאי.²³ הביטוי שהגבלות האלה מקבלות הוא בעיקר ההתעקשות על השארת אדם בחוג.²⁴ אף שהאדם בחוג יכול לעזור, בשלב זה, להתגבר על חלק מהחסרונות של המכונה, המשמעות של השארת אדם בחוג בעתיד היא ריקון היתרונות של מערכות מבוססות בינה מלאכותית מתוכן. קצב עיבוד המידע וקבלת ההחלטות של בני האדם איטי בהרבה מזה של המכונות התבוניות. הבשלת המחשבים הקוונטיים צפויה להביא לעלייתן של המכונה ביחס לבני האדם.²⁵ חיסרון נוסף הכרוך בהשארת האדם בחוג הוא התלות בתקשורת בין המפעיל למערכת הנשק, היוצרת פגיעות מול אמצעי לוחמה אלקטרונית. השתתף של רגולציה עצמית במערב, במציאות שבה מדינות כמו רוסיה וסין אינן מטילות על עצמן מגבלות כאלה, ואיראן אף מנסה למקסם את התועלת הצבאית ממערכות מבוססות בינה מלאכותית,²⁶ תיצור מצב מסוכן של אסימטריה ונחיתות מול אויבנו. בתרחיש קיצון עשוי להיווצר מצב שבו האויב יוכל לנקוט לוחמה ממונפת, ואנחנו לא. כדי

להתמודד עם אתגרי לגיטימציה, קיימים ומתפתחים, של שימוש צבאי במערכות אוטונומיות נדרש לבנות "חומה" בין חששות משימוש לא אחראי בטכנולוגיה כזאת במגזר האזרחי, שיכול להביא לפגיעה לא מידתית בזכויות אדם, ובין הפנמת הצורך הצבאי ב"מנופים טכנולוגיים" כאלה, במציאות שבה אויבנו פועלים להשמדת ישראל.²⁷ מענה אפשרי לכך הוא הפעלה של מערכות כאלה, עם תכנות מתאים, רק באזורי עניין (יעדי איסוף ותקיפה) שהוכרו כאזורי לחימה, ושלאפשר לקיים בהם את עקרון ההבחנה של דיני העימות המזוינים.²⁸

ההתפתחויות המואצות של מערכות לומדות, הירידה במחירים של סנסורים ומעבדים, תפוצתם הרבה והנגישות הפשוטה אליהם, בשילוב עם הניסיון המצטבר בשימוש המבצעי בהם, עשויים להאיץ את הבשלתן של מערכות אוטונומיות-משוטטות בעתיד הקרוב, ולעשות בהן שימוש נרחב לפגיעה במטרות ניידות, חסרות צורה אופיינית

בבסיס הביקורת על העיסוק בלוחמה ממונפת, יכול לעמוד הטיעון בגנות "רתימת העגלה לפני הסוסים". במאה ה-21 קיים בצה"ל רקורד בעייתי של גיבוש תפיסות המשפיעות על בניין הכוח ועל תוכניות מבצע שנסמכות על יכולות לא בשלות או לא קיימות.²⁹ בשונה מתורה, התפיסה "רואה פני עתיד", ואינה חייבת להתבסס רק על יכולות או אמצעים קיימים.³⁰ הבעיה נוצרת במצבים שבהם סוגרים יחידות או מערכות קיימים שנתפסים כמיושנים וכלא רלוונטיים כדי להטמיע יכולות חדשות שעדיין לא קיימות בפועל. כך נוצר פער ביכולות, שפוגע בכשירות ובמוכנות הצבא. דוגמאות לכך הן סגירת היחמ"מים בשלהי 2019 והסגירה של פלוגות הסיוור בחטיבות השריון הסדירות ב-2021 בשל "חוסר הרלוונטיות שלהן". היכולות האלה בוטלו, כחלק מהקטנה והחלשה

הן כבר מזמן לא רק נחלתן של מעצמות, ולצבאות המדינתיים אין עליהן מונופול. מגמות אלה הן ביטוי לשימוש בטכנולוגיות דואליות: טכנולוגיות שמפותחות במגזר האזרחי ועוברות למגזר הצבאי, וטכנולוגיות שמפותחות במגזר הצבאי ועוברות לאזרחי (Spin Off). אחד מזרמי העומק המאפיינים את המאה ה-21 הוא עליית הדומיננטיות של השפעת הטכנולוגיות המתפתחות במגזר האזרחי (למידה עמוקה, מחשוב קוונטי, הדפסת תלת-ממד, רחפנים, עיבוד תמונה ועוד) ביחס לאלה המתפתחות במגזר הצבאי.³⁶ מכיוון שהמערכת האזרחית מבוזרת בהרבה מהמערכות הצבאיות קשה להעריך מתי השימוש בטכנולוגיות המפציעות והמשבשות בתוך הצבאות יעבור מפעפוע להטמעה.³⁷ אומנם דרושה טכנולוגיה עלית כדי להבשיל מערכות אוטונומיות כאלה, אבל מהרגע שהן בנות-קיימא אין בעיה לשכפל אותן ולהפיץ ברבים. אפשר להשתמש במרכיבים דואליים כדי להרכיב את המערכות בקלות יחסית, ואת עדכוני התוכנה אפשר להעביר במדיית מגנטיות ובאמצעות רשת האינטרנט. לפיכך, העיסוק ההגותי והתורתי ביכולות שיאפשרו נקיטת לוחמה ממונפת הוא מחויב המציאות. אחד האתגרים בעיסוק התורתי בשילוב של מערכות כאלה, עם סיכונים והזדמנויות ייחודיים, הוא הטמעה של טכניקות קרביות ותרגולות בתוך קוד התוכנה של מערכות נשק ושכלולן באמצעות יכולות למידה עמוקה.

השפעת הלוחמה הממונפת על אתוס הלוחם

אתגרים נוספים שערים יש להתמודד הם ההשפעות על אתוס הלוחם ועל יחסי צבא-חברה. גיא חזות מיטיב לתאר בספרו **צבא ההייטק וצבא הפרשים** (מערכות, 2024) כיצד השילוב של הזנחת כוחות היבשה שהועסקו בבט"ש לצד עליית קרנם של המערכים הטכנולוגיים, מערכי האש והמבצעים המיוחדים שהובילו את הפעילות ההתקפית במב"ם הביאו לשחיקה מסוכנת של אתוס הלוחם בצה"ל. הדבר התבטא, בין היתר, בהעדפות של מלש"בים איכותיים בעלי פרופיל קרבי לשרת במערכים לא לוחמים (כמו יחידות טכנולוגיות), שבהם יוכרו כלוחמים וגם יהיו להם הזדמנויות רבות יותר באזרחות, לאחר שחרורם.³⁸ למרות הגדלת המשאבים בכוחות היבשה במהלך "חרבות ברזל", לוחמה ממונפת עשויה להחריף בעיה זאת ולהביא להקצנת ההבדלים בין שני צבאות: "צבא פרשים" מתמך שמבוסס על לוחמים שמחריפים את נפשם בקרבות פנים אל פנים ושנשחקים במבצעים ממושכים, ולצידו "צבא הייטק" שמבוסס על יכולות קטילה מרחוק של אויב, ללא סיכון למפעילים שפועלים מעורף מרחב הלחימה. יש להימנע מיצירת מציאות שבה יחסי צבא-חברה בישראל יתחלקו בין שתי חברות: חברה של מאתרים לצבא ההייטק וחברה של ה"מונים" שישרתו בצבא הפרשים. מצב שבו יתקיים שוויון בין בוגרי קרבות מצולקים בגופם ובנפשם ובין בוגרי שירות נוח (באופן יחסי), שהשירות עבורם הוא לא רק ביטוי לציונות אלא גם מקפצה לאזרחות, הוא מציאות שאינה נסבלת ושאינה מתקבלת על הדעת. כדי להתמודד עם אתגרים אלה נדרש לפתח ולייצר מערכות נשק אוטונומיות-משוטטות זולות, שאפשר יהיה להצטייד בהן בכמות גדולה ולשלבן ביחידות "המוניות" של היבשה. על מערכות אלה להיות פשוטות מאוד לתפעול ולאחזקה, כדי שאפשר יהיה לשלב את ההכשרה הדרושה עבורן בתוך ההכשרות הקרביות. הנגשתן הנרחבת של

שיטתית של כוחות היבשה, כדי לפנות מקום ליכולות חדשות שעדיין לא הבשילו.³¹ פינקל וחימיניס המשיגו את המצב הזה, בהשאלה מהמגזר הפיננסי, כ"היוון" (Discounting) - המרה של תזרים מזומנים עתידי לכסף מזומן בהווה. הדבר בא לידי ביטוי בצה"ל בגיבוש תפיסות מבצעיות ואף תוכניות מבצע על בסיס יכולות עתידיות שאינן קיימות.³² במגזר העסקי, שילוב של היוון עם מינוף (leverage) גבוה מעיד על חוסר יציבות פיננסית של הארגון והופך את ההתקשרות עימו למסוכנת וללא כדאית. תמרורי אוזרה כאלה רלוונטיים גם לצה"ל, בבואו לגבש ולממש תפיסות לבניין הכוח ולהפעלתו.

כשבונים צבא קטן למלחמות הכרעה מהירות, בהתבסס על ההנחה שהמלחמות הגדולות תמו, ומגלים שהצבא קטן מכדי להכריע את האויב, אזי נגררים למלחמות שחיקה ארוכות שדורשות סד"כ גדול בהרבה, ושמימלא אינו קיים.³³ את זה למדנו מהמלחמה באוקראינה, כשראינו שהצבא הרוסי הגדול לא היה מספיק גדול כדי להכריע, ואת זה אנו לומדים גם בארצנו במהלך מלחמת "חרבות ברזל". המילה "מינוף" בביטוי "לוחמה ממונפת" נועדה להזכיר שהמינוף מבוסס על שימוש במשאבים נתונים לצורך השגת משאבים רבים יותר. כשאין משאבים - אין מינוף, והמינוף יכול להפוך לחרב פיפיות. המינוף הטכנולוגי המבוסס על בינה מלאכותית יכול להיות מכפיל כוח שמתבטא בכל אבני היסוד של העשייה הצבאית, ומנגד הוא יכול ליצור תלות ביכולות מתפתחות שעדיין לא הבשילו. לכן נדרש לגדר את הסיכון באמצעות הבחנה מפוכחת בין יכולות קיימות, יכולות מתפתחות, ויכולות שעדיין אינן קיימות.

השילוב של הבשלת יכולות העיבוד, הזולת המרכיבים והניסיון המבצעי המצטבר עשוי לייצר את התנאים ללוחמה ממונפת בינה מלאכותית בעתיד הנראה לעין. מי שישכיל לזהות ולנצל את הפוטנציאל שלה יוכל להשיג יתרון על אויביו בעימותים עתידיים, בעוד מי שיימנע מלפתח ולהטמיע אמצעי לחימה משוטטים-אוטונומיים עשוי לפתוח את המלחמה הבאה בנחיתות מול האויב

הטכנולוגיות שמאפשרות שימוש נרחב במערכות אוטונומיות-משוטטות הן טכנולוגיות מתפתחות, ולא ברור מתי יגיעו לבשלות מלאה. אנו נמצאים בתקופה שבה היכולות האלה מתחילות לפעפ (Diffusion) באיטיות לצבאות העולם.³⁴ המגמה של שימוש הולך וגובר במערכות נשק אוטונומיות וטשטוש ההבחנה בין חימוש לפלטפורמה בשני העשורים האחרונים הם עובדות מוגמרות. "קרבות האוויר" שבהם משתתפים טייסי הקרב של המטוסים והמסוקים של חילות האוויר הישראליים והאוקראיניים הם נגד חימושים אוטונומיים זולים שמשוגרים על ידי קומץ מפעילים. כך גם מפעילי מערכות ההגנה האווירית, ביבשה ובים, נלחמים בעיקר נגד חימושים אוטונומיים. עוד דוגמה לטשטוש ההבחנה בין פלטפורמה לחימוש היא שיגור נורים (שנועדו להטעות טילים מונחי חום) מטילי שיוט רוסיים מדגם "קליבר" בסמוך לפגיעתם במטרות באוקראינה, ופיתוח של כלי טיס אוטונומיים שמשגרים חימושים.³⁵ הטכנולוגיות המאפשרות את הבשלת המערכות האוטונומיות-המשוטטות



מערכת נשק אוטונומית - הארופ - תוצרת התעשייה האווירית לישראל, בסלון האווירי בפרז. יכולות לפעול ללא מודעות מצבית משותפת בין האדם למכונה התבונית. צילום: אתר חיל האוויר

כשרים המאפשרים להכריע מלחמות ולהמשיך כרסום באתוס הלוחם. המענה לאתגרים מצריך לנקוט פעולות אלה: לגבש טכניקות קרביות שיוטמעו בקוד של המערכות האוטונומיות-המשוטטות, אשר יאפשר להן לשמר את עקרון ההבחנה ואף לטייב אותו. גם אם המוניטין של מערכות נשק מבוססות בינה מלאכותית לא ישתפר, צמצום הנזק האגבי ידבר בעד עצמו. נוסף על כך, יש לשלב את הלוחמה ואת האמצעים המתפתחים בלוחמות ובאמצעים הקיימים בתפיסות ובתוכניות המבצע - אין לחזור על טעויות של גריעת יכולות קיימות לטובת יכולות עתידיות. לבסוף, יש לפתח אמצעים זולים ופשוטים לתפעול, שאותם אפשר יהיה להטמיע במערכים המתמרגנים ובמערכי הסיוע הקרבי, תוך חידוד ההבחנה בין חייל לוחם לחייל שאינו לוחם ואשר מפעיל אמצעי לחימה התקפיים והגנתיים.

ברצוני להודות לסא"ל (מיל') ר' על הסיוע בעיבוד החומרים ממקורות גלויים בפרסית, למפקדי סא"ל ש' מחטיבת המחקר על שפינה לי זמן לכתיבת המאמר והעיר על הטייטה, לד"ר זאב אלרון ממחלקת היסטוריה באמ"ץ-תוה"ד, לאל"ם גלעד אברלינג'י, רמ"ח תוה"ד באמ"ץ-תוה"ד, ולתא"ל (מיל') ד"ר מאיר פינקל ממרכז דדו באמ"ץ-תוה"ד על הערותיהם המועילות. ככל שיש טעויות במאמר, הן כולן שלי.

זהו מאמר המשך למאמר שפרסם הכותב במערכות: "הסכנה בהגבלה של פיתוח מערכות מבוססות בינה מלאכותית לצרכים צבאיים" (16 ביוני 2020).
ההערות למאמר זה מתפרסמות בסוף הגיליון.

מערכות אלה תוכל לסייע בצמצום הפערים במקום להנציחם. לא פחות חשוב מכך, נדרש לחדד את ההבחנה בין לחימה לפעילות מבצעית כדי לצמצם את השחיקה של אתוס הלוחם בצה"ל.³⁹ הלוחמה האווירית, הלוחמה האלקטרונית ולוחמת הרשת והמידע לא החליפו, וכנראה גם לא יחליפו, את לוחמת היבשה. לפיכך, לוחמה ממונפת תהיה נדבך נוסף באומנות המלחמה, ולא תשמש תחליף ליתר הלוחמות. אם לא נבדיל בין לוחמים לאלה שאינם לוחמים, כמו מפעיל אמל"ח התקפי והגנתי,⁴⁰ נמצא את עצמנו עם מעט מדי לוחמים. במציאות שבה אויבנו פועלים להשמידנו, מחסור בלוחמים הוא סכנה לקיומה של המדינה.

סיכום

השילוב של הבשלת יכולות העיבוד, הוזלת המרכיבים והניסיון המבצעי המצטבר עשוי לייצר את התנאים ללוחמה ממונפת בינה מלאכותית בעתיד הנראה לעין. לוחמה כזאת כנראה לא תביא למהפכה נוספת בעניינים צבאיים (RMA - Revolution of Military Affairs) אלא תתווסף ללוחמות הקיימות והמתפתחות. מי שישכיל לזהות ולנצל את הפוטנציאל שלה יוכל להשיג יתרון על אויביו בעימותים עתידיים, בעוד מי שיימנע מלפתח ולהטמיע אמצעי לחימה משוטטים-אוטונומיים עשוי לפתוח את המלחמה הבאה בנחיתות מול האויב.

יש להתמודד עם האתגרים הקיימים והאפשריים כדי שלוחמה כזאת לא תהיה תשתית לדה-לגיטימציה של ישראל, לזניחת



- VIDEO, 26:32. POSTED BY "WALL STREET JOURNAL," FEBRUARY 16, 2024. [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=P0CcM7dM7NI](https://www.youtube.com/watch?v=P0CcM7dM7NI); "INSIDE UKRAINE'S SURPRISING SUCCESS AGAINST RUSSIA'S MILITARY." YOUTUBE VIDEO, 12:48. POSTED BY "VOX," DECEMBER 21, 2022. [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=l_8HH7iNQDE](https://www.youtube.com/watch?v=l_8HH7iNQDE); "RUSSIA'S WAR IN UKRAINE: EXPLAINING THE CONFLICT | START HERE." YOUTUBE VIDEO, 12:36. POSTED BY "AL JAZEERA ENGLISH," FEBRUARY 28, 2022. [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=Xs8WA8LXJf8](https://www.youtube.com/watch?v=Xs8WA8LXJf8); "THE EVOLUTION OF WARFARE IN UKRAINE | FRONTLINE." YOUTUBE VIDEO, 26:23. POSTED BY "FRONTLINE PBS | OFFICIAL," FEBRUARY 13, 2024. [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=DtSrjVb3E9U](https://www.youtube.com/watch?v=DtSrjVb3E9U); "WHY THE US MILITARY IS DEVELOPING THOUSANDS OF DRONES." YOUTUBE VIDEO, 11:15. POSTED BY "CNBC," OCTOBER 1, 2023. [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=g730zKNITNY](https://www.youtube.com/watch?v=g730zKNITNY)
- 4 HORN, D., & HOHMAN, R.M. (2024, FEBRUARY 21). FULL SPEED AHEAD: INTEGRATING KINETIC DRONES INTO THE COMBINED-ARMS BATTALION. ASSOCIATION OF THE UNITED STATES ARMY; KOFMAN, M., & WATLING, J. (2024, FEBRUARY 22). TACTICAL DEVELOPMENTS DURING THE THIRD YEAR OF THE RUSSO-UKRAINIAN WAR. ROYAL UNITED SERVICES INSTITUTE
- 5 GIFFEN, D.M. (2024). THE AIR-GROUND LITTORAL AND GREAT POWER CONFLICT. ÆTHER: A JOURNAL OF STRATEGIC AIRPOWER & SPACEPOWER 3, NO. 3, PP. 53-66; GVENTER, C.W. (2023, DECEMBER 18). ARMY AVIATION AND DECISIVENESS IN THE AIR-GROUND LITTORAL. ASSOCIATION OF THE UNITED STATES ARMY
- 6 הדוגמה הקלסית לכך היא "מעיל הרוח" – שינה את מאזן הכוחות מול טילי נ"ט. כך גם במקרה זה – מי שיפתח ראשון את ההגנה היעילה נגד FPV – יחזיק בידיו את המפתח למערכה הבאה
- לוחמה ממונפת בינה מלאכותית (עמ' 32)**
- 1 "מכונה תבונית" הוא כינוי למכונה (כמו מערכת נשק או חימוש) בעלת בינה מלאכותית. "בינה מלאכותית" היא מערכת המסוגלת לפתור בצורה רציונלית בעיות מורכבות או לנקוט פעולות כדי להשיג את מטרותיה בנסיבות שונות שבהן היא נתקלת. ההגדרה מבוססת על EXECUTIVE OFFICE OF THE PRESIDENT NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL COMMITTEE ON TECHNOLOGY, "PREPARING FOR THE FUTURE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE", OCTOBER 2016, ACCESSED 5 FEBRUARY 2018. יש גם הגדרות אחרות, כמו כושר חשיבה או כושר ביטוי של מחשב או רובוט, הקרובות לאלה האנושיות. אמ"ץ-תוה"ד, המילון למונחי תורה צבאית (טיוטה פנימית), מטכ"ל-10, תש"ף-2020
- 2 ההגדרות מבוססות על. MATTIS, J. (2018, MAY). MINISTRY OF DEFENCE. HUMAN-MACHINE TEAMING, JOINT CONCEPT NOTE 1/18, P. 47
- PREWAR PLANNING AND THE OCCUPATION OF IRAQ. RAND CORPORATION, P. 18
- 21 מתחת לשר ההגנה האמריקני יש שרים נפרדים לזרוע האוויר, זרוע היבשה וזרוע הים. זרוע הנחתים כפופה לשר הימית
- BARRY, B. (2020). BLOOD, METAL AND DUST: HOW VICTORY TURNED INTO DEFEAT IN AFGHANISTAN AND IRAQ. OSPREY, P. 119
- 22 DOBBINS, J., ET AL. (2003). AMERICA'S ROLE IN NATION BUILDING: FROM GERMANY TO IRAQ. RAND CORPORATION
- 23 BENSACHEL (2008), P. 43
- 24 IBID, P. 18; QUINLIVAN, J.T. (1995). FORCE REQUIREMENTS IN STABILITY OPERATIONS. PARAMETERS VOL 25, NO. 1, PP. 59-69
- 25 UN NEWS (2011, MARCH 17). SECURITY COUNCIL AUTHORISES "ALL NECESSARY MEASURES" TO PROTECT CIVILIANS IN LIBYA. [HTTPS://NEWS.UN.ORG/EN/STORY/2011/03/369382](https://news.un.org/en/story/2011/03/369382)
- 26 OBAMA, B. (2011 MARCH 21). LETTER FROM THE PRESIDENT TO THE SPEAKER OF THE HOUSE OF REPRESENTATIVES AND THE PRESIDENT PRO TEMPORE OF THE SENATE. [HTTP://C-SPAN.ORG/UPLOADEDFILES/CONTENT/DOCUMENTS/2011LIBYA.MILITARY.REL.PDF](http://c-span.org/uploadedfiles/content/documents/2011libya.military.rel.pdf)
- 27 OBAMA, B. (2011 MARCH 28). REMARKS BY THE PRESIDENT IN ADDRESS TO THE NATION ON LIBYA. (SPEECH, WASHINGTON D.C. [HTTPS://OBAMAWHITEHOUSE.ARCHIVES.GOV/THE-PRESS-OFFICE/2011/03/28/REMARKS-PRESIDENT-ADDRESS-NATION-LIBYA](https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2011/03/28/remarks-president-address-nation-libya)
- 28 CHIVVIS, C.S., & MARTINI, J. (2014). LIBYA AFTER QADDAFI: LESSONS AND IMPLICATIONS FOR THE FUTURE. RAND CORPORATION, P. IX
- 29 IBID, P. 4
- מהפכת ה-FPV ומשמעויותיה ללוחמת היבשה ויתר הממדים (עמ' 26)**
- 1 FIRST PERSON VIEW – כינוי לרחפן מתאבד זול
- 2 אורלון (ORLON) – כטב"ם סיור טקטי תוצרת רוסיה; לאנסט (LANCET) – משוטט מתאבד טקטי מאותה תוצרת
- 3 אלפי סרטונים ומאמרים רצים ברשת בנושא זה. בחרנו לצרף כאן את הסרטונים שממחישים מבחינתנו את הכתוב במאמר: "A-10 THUNDERBOLT II IN ACTION • HEAVY HITTING AIR POWER." YOUTUBE VIDEO, 8:11. POSTED BY "US MILITARY CHANNEL," MARCH 1, 2024. [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=zBPdQXs8KLW](https://www.youtube.com/watch?v=zBPdQXs8KLW); "AUSA 2023 - ARMY MODERNIZATION AND FUTURE CAPABILITIES." YOUTUBE VIDEO, 1:23:24. POSTED BY "DEFENSE NOW," OCTOBER 10, 2023. [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=69IQUcXmVBI](https://www.youtube.com/watch?v=69IQUcXmVBI); "HOW THE US MILITARY'S DRONE SWARMS WILL DOMINATE FUTURE WARS." YOUTUBE VIDEO, 8:08. POSTED BY "SANDBOXX," AUGUST 29, 2023. [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=QWr75sNGRYW](https://www.youtube.com/watch?v=QWr75sNGRYW); "INSIDE UKRAINE'S DRONE WAR | WSJ DOCUMENTARY." YOUTUBE

- על MICA, R.E. & DAVID, B.K. (1999). LEVEL OF AUTOMATION EFFECTS ON PERFORMANCE, SITUATION AWARENESS AND WORKLOAD IN DYNAMIC CONTROL TASK. ERGONOMIC. VOL 42, No 3, P. 464
- 3 SCHARRE, P. (2018, APRIL). ARMY OF NONE – AUTONOMOUS WEAPONS AND THE FUTURE OF WAR. W.W NORTON & COMPANY
- 15 גת, ע' (יולי 2003). אידיאולוגיה, מדיניות, טכנולוגיה ודוקטרינות אסטרטגיות בין שתי מלחמות העולם. מערכות 390, עמ' 4–15. על הטמעה איטית של טכנולוגיות צבאיות והשפעתן על שדה הקרב ראו אמ"ץ-תוה"ד (2019). האטת קצב השינויים הטכנולוגיים. זרקור היסטורי 57
- 16 ראו הצעה לתפיסה דומה אצל בן מימון, ש' (2022), 22 בפברואר). מערכות. הסברים על לוחמות, על סוגי מבצעים, צורות קרב ומצבי יסוד ראו בתוך אמ"ץ-תוה"ד (2019). מבצעים
- 17 אל"ם ט' ואל"ם ר' (ספטמבר 2023). תפיסת העליונות בתחרות האסטרטגית בין ישראל ובין איראן. בין הקטבים 39; יהושוע, י' (2024, 1 במרס). צה"ל דורש תוספת מיידית של 7,000 חיילים. YNET
- 18 על תפיסת ה־SOL בהקשר בו הוצגה ראו כוכבי, א' (2022, 12 בדצמבר). על הטרנספורמציה הצבאית של צה"ל. המכללה הביטחונית לבניין הכח
- 19 אבני היסוד של העשייה הצבאית (2006). אמ"ץ-תוה"ד. ראו גם ניתוח של מערכות נשק מבוססות בינה מלאכותית בהתאם לאבני היסוד של העשייה הצבאית בתוך רס"ן ד' (2020, 16 ביוני). הסכנה בהגבלה של פיתוח מערכות מבוססות בינה מלאכותית לצרכים צבאיים. מערכות
- 20 על יתרונותיה של גישת פיקוד משימה ראו בתוך משה, צ' והאס, א' (2021, 21 בינואר). אין פיקוד אחר. מערכות 489
- 21 להעמקה בסוגיות האלה ראו הפעלת האש (2016). אמ"ץ-תוה"ד. מבצעים (2019). אמ"ץ-תוה"ד. מבצעי היבשה – כרך א' (2012). תו"ל-מז"י. האש במבצעי היבשה (2019). תו"ל-מז"י. הפיקוד והשליטה במבצעי היבשה
- 22 סוכנויות הידיעות, עובדים בגוגל התפטרו במחאה על מעורבותם בפרויקט בינה מלאכותית עבור הפנטגון (מאי 2018). THE MARKER; חרם אקדמי: "לעצור פיתוח חשאי של רובוט מחסל". (8 באפריל, 2018). YNET
- 23 ברקוביץ, א' (2020, 5 בפברואר). טכנולוגיה בשדה הקרב: מי יהיה אחראי אם ייהרגו חפים מפשע. גלובס; ראו דיון מעמיק בתוך גל, ר' (2022, 12 בדצמבר). השלכות נורמטיביות של הפעלת מערכות נשק אוטונומיות חמושות. מערכות; ודיון בתוך רס"ן ד' (2020, 16 ביוני). הסכנה בהגבלה של מערכות מבוססות בינה מלאכותית. מערכות
- 24 DEFENSE INNOVATION BOARD (2020). AI PRINCIPLES: RECOMMENDATIONS ON THE ETHICAL USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE BY THE DEPARTMENT OF DEFENSE
- 25 עציון, א' (2024, 16 בדצמבר). מרכיב משמעותי בפיתוח אמצעי לחימה: התעשייה האווירית חנכה מחשב קוונטי. וואלה
- 26 קאהאן, ר' (ספטמבר 2017). פוטין: המדינה שתוביל בתחום ה־AI תשלט בעולם כולו. כלכליסט [נבדקו לאחרונה בדצמבר 2024]. מבוסס על ריאיון של מפקד משמרות המפכה האיראניים בעיתון כיהאן שפורסם
- ועל MICA, R.E. & DAVID, B.K. (1999). LEVEL OF AUTOMATION EFFECTS ON PERFORMANCE, SITUATION AWARENESS AND WORKLOAD IN DYNAMIC CONTROL TASK. ERGONOMIC. VOL 42, No 3, P. 464
- 3 SCHARRE, P. (2018, APRIL). ARMY OF NONE – AUTONOMOUS WEAPONS AND THE FUTURE OF WAR. W.W NORTON & COMPANY
- ובתוך מאמרים נבחרים בעברית שמצטטים אותו: רס"ן, ד' (2020, 16 ביוני). הסכנה בהגבלה של מערכות מבוססות בינה מלאכותית; קמינר, ב' (2021, 21 בינואר). האם נכון לוותר על המפעיל האנושי במערכות לחימה אוטונומיות. מערכות, 489; בן מימון, ש' (2022, 22 בפברואר). צוותי לחימה משולבים – מאויש ובלתי מאויש. מערכות, 493
- 4 אסטליין, ל' (2024, 27 בפברואר). רק מחפש לפגוע, בטאון חיל האוויר, 215
- 5 טילים עם רב"תי ARM מכונים גם "טילים נגד קורנים". על השימוש בטילים נגד קורנים במלחמת רוסיה–אוקראינה ראו: סדן, נ' (2020, 10 בספטמבר). על טילים מונחי חום ראו: סדן, נ' (2021, 25 ביולי). קליעי הקסם: כך שינה טיל הסיידוויינדר את הלוחמה האווירית. כלכליסט
- 6 יונאי, א' (1995). עליונות אווירית. כתה. פרק 21
- 7 שם
- 8 אזולאי, י' (2023, 23 בנובמבר). תע"א תמכור לצבאות זרים מל"טים "מתאבדים" בכחצי מיליארד שקל. כלכליסט
- 9 לוי, ש' (2020, 2 באוקטובר). הקונספט של חימוש משוטט הומצא כאן. מאקו; רפאל חושפת טיל מונחה מדויק חדש ממשפחת טילי "ספינק" (2017, 30 במאי) WWW.ISRAELDEFENSE.CO.IL; HANBLING, D. (2024, JUNE 25) RUSSIA STEPS UP DEPLOYMENT OF LANCET KAMIKAZE DRONES, BUT HOW EFFECTIVE ARE THEY?. FORBES
- 10 בן ישראל, י' (2000, 21 ביולי). טכנולוגיה והכרעה – ההרורים על צה"ל בעקבות קוסובו. מערכות
- 11 שוחט, ש' ורמתי, י' (2022, 22 בספטמבר). לקחים ותצפיות ראשוניות ממערכה האווירית והפעלת האש מנגד באוקראינה בין הקטבים; רמתי, י' (2022, 24 ביולי). כטמ"מים איראניים בשמי אוקראינה. מערכות; רובין, ע' (יולי 2023). טילים, כטמ"מים ורקטות במערכה האווירית באוקראינה בתוך הכט, ע' (עורך) המלחמה באוקראינה: 16 נקודות מבט, 9 תובנות. BESA ומערכות, עמ' 33–47
- 12 שקדי, ר' (2024, 10 באוקטובר). כטב"מים, מרגלים וצורות אחרות: 7 באוקטובר זו מלחמה מסוג אחר. ישראל היום; כוכבי, ר' (2024, 14 באוקטובר). "כישלון מבצעי בהגנת שמי המדינה": פרטים חדשים על הכטב"ם שזוהה, נעלם והתפוצץ. מעריב; מן, י' (2023, 15 בנובמבר). כך הפכו הכטב"מים לאיום על ישראל. YNET
- 13 חרל"פ, ש' (2024, 17 ביולי). בועת האוויר של בלון התצפית "טל שמיים". YNET; הלר, א' (2024, 14 באוקטובר). חיילים נהרגו מפגיעת הכטב"ם בבא"ח גולני; 7 במצב קשה. רשת 13; חשמונאי, ע' ואחרים (2024, 19 באוקטובר). כטב"ם נשלח מלבנון בניסיון להתנקש בנתניהו, ופגע בסביבת ביתו בקיסריה. הארץ
- 14 ראו דוגמה על אודות ה"הארפי": התעשייה האווירית חשפה מל"ט מתאבד חדש (2017, 24 ביוני). גלובס

- מהחייל לפעול במרחב הלחימה ולסכן את חייו. מילון מונחי התורה הצבאית (טייטה) (נובמבר 2024).
- לחימה מוסרית לאחר 7 באוקטובר (עמ' 38)**
- 1 וולצר, מ' (1984). מלחמות צודקות ולא צודקות. עם עובד
 - 2 שרביט ברוך, פ' וקנר, ת' (12 באוקטובר, 2023), "המתקפה הרצחנית של חמאס על ישראל – היבטים משפטיים", מבט על 1769, המכון למחקרי ביטחון לאומי
 - 3 PACCHIANI, G. (2023, 12 OCTOBER), "HAMAS DEPUTY CHIEF LIES: WE DON'T TARGET CIVILIANS, WE ONLY ATTACKED IDF", THE TIMES OF ISRAEL
 - 4 KILANI, F. (2023, NOVEMBER 7), "HAMAS LEADER REFUSES TO ACKNOWLEDGE KILLING OF CIVILIANS IN ISRAEL", BBC
 - 5 ECANOW, N. (2023, 1 NOVEMBER), HAMAS OFFICIALS ADMIT ITS STRATEGY IS TO USE PALESTINIAN CIVILIANS AS HUMAN SHIELDS, NEW YORK POST
 - 6 JORDAN, E. (2024, 29 FEBRUARY), HAMAS CHIEF REPORTEDLY LOOKS FORWARD TO HIGH CIVILIAN DEATH TOLL IN RAFAH, THE JEWISH CHRONICLE; SAID, S. AND JONES, R. (2024, 10 JUNE), GAZA CHIEF'S BRUTAL CALCULATION: CIVILIAN BLOODSHED WILL HELP HAMAS, THE WALL STREET JOURNAL
 - 7 ישראל במלחמה - נתונים מתעדכנים בזמן אמת, מרכז הנתונים של המכון למחקרי ביטחון לאומי INSS
 - 8 נחשפה שיחה בין קצין 504 לתושב רצועת עזה (26 אוקטובר, 2020). אתר צה"ל
 - 9 INTERNATIONAL COMMITTEE OF THE RED CROSS, PROTOCOL ADDITIONAL TO THE GENEVA CONVENTIONS OF 12 AUGUST 1949, AND RELATING TO THE PROTECTION OF VICTIMS OF INTERNATIONAL ARMED CONFLICTS (PROTOCOL I), ART. 51(7), 1977
 - 10 WALZER, M. (2013). CODA: CAN THE GOOD GUYS WIN? EUROPEAN JOURNAL OF INTERNATIONAL LAW, 24(3), 437
 - 11 הצהרת דובר צה"ל (21 נובמבר 2023)
 - 12 ISRAEL DEFENSE FORCES, (N.D.), USE OF GAZANS AS HUMAN SHIELDS, ISRAEL DEFENSE FORCES
 - 13 LAZAR, S. (2014, AUGUST 5), ON HUMAN SHIELDS, BOSTON REVIEW
 - 14 WATTS, S. (2009), RECIPROCITY AND THE LAW OF WAR, HARVARD INTERNATIONAL LAW REVIEW, 50(2), 366
 - 15 דמיר, א' (2007). לחימה מוסרית בטרור. מערכות 414, 34
 - 16 המכון הישראלי לדמוקרטיה (אוקטובר 2019), סקר ערכים בלחימה
 - 17 אסרף, מ' (31 דצמבר 2023). סטרוק שאלה בממשלה: יש טייסים שלא פועלים מסיבות מצפוניות? רשת 13
 - 18 רובין, ב' (24 ספטמבר 2024). "צבי סוכות מתפוצץ על יואב גלנט: מי אחראי להחלטה האיומה הזו?". מעריב
- אתגר "המרחב האנושי": מודיעין אוכלוסייה בצבא המודרני (עמ' 44)**
- 1 אל"ם ארז (פברואר 2014). "תקופת מעבר" - מיזם הסיוע לתושבי דרום לבנון (מרס-נובמבר 1976), מקרה מבחן לגיבוש תפיסת סיוע אינטגרטיבי לאוכלוסייה
- 18 בספטמבר 2024, על ראיון של סגן מפקד כוחות היבשה בצבא איראן בביטאון רשמי של צבא איראן שפורסם ב-23 במאי 2024 ועל פרסומים גלויים נוספים; כביר, ע' (2024, 29 בדצמבר). "הם מתקדמים מהר": מודל ה-AI הסיני מצמצם פערים מהמערב בקצב מסחרר כלכלי
- 27 נגל, י' ודובוביץ, מ' (11 ביולי, 2024). לא רק תכנית הגרעין: מטרת העל של חמינאי עד 2040 מחייבת אותנו להיערך בהתאם. מעריב; אדלסון, ד' (2023, 19 בפברואר). 60 מדינות קראו לשימוש אחראי ב-AI בשדה הקרב - ישראל סירבה לחתום. YNET; ברקסטון, מ' (22 באוגוסט, 2024). בינה מלאכותית תגמד את המירוץ לנשק גרעיני וישראל לא יכולה להרשות לעצמה להפסיד בו. כלכליסט; לדיון מעמיק על התמודדות עם אתגרים אתיים של שימוש במערכות נשק מבוססות בינה מלאכותית ראו בתוך רס"ן, ד' (16 ביוני, 2020). הסכנה בהגבלה של מערכות מבוססות בינה מלאכותית. מערכות
 - 28 שם
 - 29 פינקל, מ' וחימיניס, א' (19 בספטמבר, 2024). העתיד כבר כאן? דפוס "היוון העתיד" בתרבות הארגונית של צה"ל. מערכות 503
 - 30 מסמכי היסוד הביטחוניים והצבאיים: מהותם, ייעודם וארגונם. (יוני 2016). אמ"ץ-תה"ד - המדור לפרסומים ולמינוח
 - 31 מבוסס על מרכז הלמידה המבצעית לכוחות היבשה, תחקיר המלחמה שנכתב טרם המלחמה - על תורת הלחימה והמקצוע הצבאי (22 בינואר, 2024). אוגדן #24 מבוסס על סיכום התפקיד של רס"ן ד' בענף תו"ל מז"י שפורסם בתוך זרוע היבשה ב-1 באוגוסט 2023
 - 32 פינקל וחימיניס (2024)
 - 33 תחקיר המלחמה שנכתב טרם המלחמה - על תורת הלחימה והמקצוע הצבאי (22 בינואר, 2024). אוגדן #24
 - 34 ברגיל, א' (יולי 2024). טכנולוגיות "מפציעות ומשבשות" בעולם הביטחוני - למידה ממקרה בוחן של בינה מלאכותית ונתוני עתק בנאט"ו על בניית יכולות השתנות טכנולוגיות. מערכות ואגודת חוקרי צבא-חברה בישראל. כתב עת 6-7
 - 35 סדן, נ' (6 ביולי, 2024). מטיל פצצות, מפיל מטוסים: הכירו את הכטב"ם הכי חזק של חיזבאללה. כלכליסט. מבוסס גם על ניתוח סרטונים שצולמו בסמוך לפגיעה של חימושים אוטונומיים ברשתות חברתיות
 - 36 פאגליון, ג' (18 בדצמבר, 2018). "מרוץ החידוש" שינוי פרידיגמה במערכת המחקר והפיתוח הבטחונית. בין הקטבים
 - 37 ברגיל (יולי 2024)
 - 38 חזות, ג' (2024). צבא ההיי-טק וצבא הפרשים. מערכות. ראו גם טייב, ש' (1 בפברואר, 2021). אתוס הלוחם - ההכרח וההזדמנות לעיצובו מחדש על רקע המהפכה הרביעית בעניינים צבאיים. בין הקטבים 27-26
 - 39 בסיס טוב להבחנה הזאת ערך הירש א' (2019). מבצעים. אמ"ץ-תה"ד, עמ' 44
 - 40 "חייל המפעיל אמצעי לחימה התקפי או הגנתי" הוא חייל שתפקידו הקבוע הוא להפעיל אמצעי לחימה המיועד לפגוע באויב או באמצעיו, והנמצא בדרך כלל מחוץ למרחב הלחימה. לעיתים ולפרק זמן קצוב נדרש