

תרומת הטכנולוגיה הצבאית הישראלית לצבא האמריקאי

ג'ון ספנסר וליאם קולינס¹ | 27 באפריל, 2025 | גיליון 1975

לאחר מלחמת יום הכיפורים ביקש משרד ההגנה האמריקאי לבצע הערכה מקיפה של המלחמה והזמין לא פחות מ-37 מחקרים נפרדים בנושא, כולל דוח בן שבעה כרכים על מערכות נשק, שהוא עדיין מסווג. הלקחים שהופקו מהצלחות ישראל בשדה הקרב יעצבו בהמשך את הדוקטרינה הצבאית של ארצות הברית, וישפיעו ישירות על פיתוח תורת הלחימה של "קרב אוויר-יבשה" ו"חמש מערכות הנשק הגדולות" - מסוקי אפאצ'י, רק"מ בראדלי, מערכות טילי פטריוט, טנקי אברמס ומסוקי בלאק הוק. פיתוחים אלה, בשילוב גישות מבצעיות חדשות שהדגישו מהירות, כוח אש ותיאום בין הכוחות, יגדירו מחדש את הלוחמה המודרנית.

המעורבות המתמשכת של צבא ארצות הברית בחידושים הביטחוניים הישראליים ממשיכה להשפיע על האסטרטגיות ומערכות הלחימה של הצבא האמריקאי. ממערכות הגנה לטנקים ועד לפתרונות לוחמה מבוססי בינה מלאכותית - חברות ביטחוניות ומוסדות מחקר ישראליים ידעו לספק בעקביות חידושים מהשורה הראשונה, שמצאו את דרכם לצבא האמריקאי. רבות מהטכנולוגיות הללו נולדו מתוך אתגרי הביטחון הייחודיים של ישראל והצורך שלה בפתרונות מהירים ללוחמה אורבנית וא-סימטרית. צבא ארצות הברית אימץ רבות מהמערכות הישראליות, ושילב אותן בלחימה בעיראק ובאפגניסטן ובמבצעים שונים ללוחמה בטרור ברחבי העולם.

תחבובת החירום הישראלית: מצילת חיים בשדה הקרב

החידושים הישראליים עיצבו את הדוקטרינה הצבאית ואת מבנה הכוח, וכן הייתה להם השפעה ישירה גם ברמת הלוחם בשטח, כפי שמלמדים הפיתוחים הרפואיים לשדה הקרב. תחבובת החירום - תחבובת פשוטה אך יעילה ביותר לעצירת שטפי דם שפותחה על ידי חובש צבאי ישראלי - הצילה אינספור חיי חיילים אמריקאים. התחבובת, שהוצגה לראשונה בשנות התשעים, כוללת חוסם עורקים מובנה המאפשר לחיילים לטפל בפצעים קשים ביד אחת. צבא

¹ ג'ון ספנסר עומד בראש המחלקה ללימודי לוחמה בשטח בנוי במכון ללוחמה מודרנית, מנהל שותף של פרויקט 'לוחמה בשטח בנוי' במכון, ומנחה הפודקאסט בנושא הלוחמה בשטח בנוי. הוא שירת 25 שנים כלוחם חי"ר, במהלך שירת בשני סבבי לחימה בעיראק. מחבר הספר *Connected Soldiers: Life, Leadership, and Social* Understanding Urban Warfare. ומחבר שותף של הספר *Connections in Modern War*.

ליאם קולינס, PhD, היה המנהל המייסד של המכון ללוחמה מודרנית בווסט פוינט ועמית צבאי מכובד במכון המזרח התיכון. הוא קולונל בדימוס של הכוחות המיוחדים, והוצב בעיראק, אפגניסטן, בוסניה, קרן אפריקה ודרום אמריקה, עם הצבות קרביות רבות בעיראק ובאפגניסטן. הוא מחבר שותף של הספר *Understanding Urban Warfare* ומחבר הספר *Leadership & Innovation During Crisis: Lessons from the Iraq War*.

ארצות הברית אימץ את תחבושת החירום בתחילת שנות האלפיים, במיוחד לאור העלייה במספר ההרוגים בעיראק ובאפגניסטן כתוצאה ממטעני חבלה וירי מנשק קל, וכיום היא חלק סטנדרטי מערכות העזרה הראשונה של חיילים, כוחות מיוחדים וכוחות חירום אמריקאיים.

דחפור משוריין: כלי חיוני בלוחמה אורבנית

ההתאמה שעשה צה"ל לדחפור D9 לשימוש קרבי יצרה דגם של דחפור משוריין כבד, שהוכיח את עצמו בשדה הקרב והשפיע ישירות על הפעולה הצבאית האמריקאית בעיראק. בשנת 2003 רכש צבא ארצות הברית 14 דחפורי D9 משוריינים ישראלים שפותחו על ידי חיל ההנדסה הצבאית של צה"ל, לשימוש באזורי לחימה ודגמת עיראק. למרות שעדיין לא ידוע היכן נפרסו אותן יחידות ספציפיות בעיראק, רכישת הדחפורים המחישת את ההכרה הגוברת במומחיות הישראלית בהתאמת ציוד כבד ללוחמה בשטח בנוי. לפי חלק מהדיווחים בנושא, דחפורי D9 משוריינים שימשו בקרב השני של פלוג'ה, וסביר מאוד שהיו מצוידים בערכות שריון פרי תכנון ישראלי, שאפשרו לכוחות האמריקאים לפרוץ מחסומים, להרוס עמדות מבוצרות ולהפחית את הסיכון לחיילי החי"ר. צה"ל עצמו עושה שימוש רב ב-D9 ברצועת עזה, לצורך פינוי מבנים ממולכדים, חשיפת פירים של מנהרות ופריצת מחסומים תחת אש - לא פעם בצל איום ממטעני חבלה וטילים נגד טנקים. כדי להגן טוב יותר על המפעילים בלי לפגוע בשימוש האורבני של הפלטפורמה, ישראל פיתחה גרסה של הדחפור המופעלת בשליטה מרחוק. הגרסה הבלתי מאוישת מאפשרת לכוחות לבצע משימות הנדסיות קריטיות באזורי סיכון גבוה בלי לחשוף חיילים לאש ישירה, ומוכיחה כיצד ה-D9 ממשיך להתפתח ככלי מציל חיים בשדה הקרב המודרני.

מערכות הגנה אקטיבית: החשיבות של מערכת מעיל רוח בשדה הקרב

הפיתוחים הישראליים שנועדו להגן על הכוחות הלוחמים הגדילו באופן דרמטי את יכולת השרידות של פלטפורמות משוריינות בלחימה. אחת התרומות הישראליות המשמעותיות ביותר ללוחמה משוריינת היא מערכת "מעיל רוח" (שנקראת באנגלית Trophy). המערכת, שפותחה על ידי חברת 'רפאל מערכות לחימה מתקדמות', מספקת הגנה שכבתית מפני טילים מונחים נגד טנקים ורקטות RPG, ויוזעת לזהות איומים, לעקוב אחריהם ולירט אותם באופן אוטומטי לפני שהם פוגעים בטנק. המערכת נבחנה לראשונה על ידי צה"ל בשדה הקרב בשנת 2011, ועד מהרה הוכיחה את יעילותה במצבי לחימה.

אחד האתגרים הגדולים בלוחמה בשטח בנוי, הוא הצורך להגן על הכוח הלוחם הנייד. טנקים וכלי רכב משוריינים נדרשים לפעול בסביבות צפופות, שבהן האיומים אורבים מאחורי כל פינה ודרך כל חלון. בעבר, הקרב בסביבה האורבנית חשף את כלי הרכב למארבי RPG קטלניים, ששוגרו מעמדות נסתרות בבניינים, סמטאות, רשת מנהרות או נקודות תצפית גבוהות, דוגמת קומות עליונות וגגות, כשהם שבים ומוכיחים את האיום הרב-ממדי הצפוי בזירת קרב בשטח בנוי. מערכת 'מעיל רוח' חוללה מהפכה בלוחמה האורבנית בזכות צמצום הפגיעות, והיא

מאפשרת לטנקים לתמרן במבוך של לחימה עירונית צפופה עם יכולת שרידות רבה יותר. היכולת של המערכת לנטרל ירי RPG לפני הפגיעה תרמה רבות לשימוש המחודש בשריון כבד בלוחמה בשטח בנוי - יכולת קריטית שצבאות מודרניים, ובתוכם צבא ארצות הברית, רצו מאוד לשמר.

מתוך הכרה באיום הגובר מצד נשק נ"ט מודרני, צבא ארצות הברית החל משנת 2018 לשלב את מערכת מעיל רוח בטנקים מדגם M1 אברמס, ועד שנת 2020, כבר היו פרוסים באירופה טנקי אברמס המצוידים ב'מעיל רוח'. היכולת של המערכת להשאיר את הטנקים מבצעיים בזכות נטרול טילים מונחים נגד טנקים, השפיעה במידה ניכרת על לוחמת השריון של ארצות הברית ושל ישראל גם יחד.

בנוסף, על רקע התפתחות האיומים האוויריים הבלתי מאוישים, מערכת 'מעיל רוח' עוברת כיום התאמה להתמודדות עם מתקפות מבוססות כטב"מים. מפתחים בתעשייה הביטחונית הישראלית משלבים במערכת חיישני זיהוי כטב"מים ואמצעי-נגד אלקטרוניים, כדי להבטיח שכלי רכב משוריינים יהיו מוגנים לא רק מפני ירי קרקעי, אלא גם מפני חימוש משוטט ומתקפות של נחילי כטב"מים, שהם מקור לדאגה גוברת בשדה הקרב המודרני, במיוחד באזורי לחימה אורבניים שבהם נעשה שימוש רב בכטב"מים לאיסוף מודיעין ולתקיפות מדויקות.

התמודדות עם מטעני חבלה

במהלך המלחמה בעיראק, מטעני חבלה מאולתרים היו אחראים לרוב ההרוגים האמריקאים. המטענים היו כה קטלניים, עד שבשנת 2004 הורה הגנרל ג'ון אביזייד, מפקד פיקוד המרכז בצבא ארצות הברית, להקים פרויקט "בסגנון פרויקט מנהטן" כדי להתמודד עם האיום. אחד המקומות הראשונים שאליהם פנתה ארצות הברית לעזרה בקידום המשימה היה ישראל. לאחר שנים של התמודדות עם איומי מטענים מצד חמאס, חיזבאללה וארגוני טרור אחרים, יכולת המענה של ישראל עלתה בהרבה על זו של ארצות הברית. ישראל חלקה את הטכנולוגיות שלה עם ארצות הברית וסיפקה לה התקני מיקרוגל לרכבים בשם Dragon Spike II-Spike, לבחינת הביצועיות שלהם בעיראק ובמתקני הניסוי הצבאיים שלה באריזונה. המכשירים האלה לא היו פתרון קסם לבעיית מטעני החבלה, אבל הם היו נקודת הפתיחה לפיתוחי המשך אמריקאיים.

כלבים בשירות הצבא: יחידות כלבנים

הניסיון הקרבי של ישראל באזורים אורבניים צפופים הביא אותה לפתח מומחיות בשימוש בכלבים, והלקחים המבצעיים שלה בתחום חלחלו בהדרגה לפרקטיקה הצבאית האמריקאית. 'יחידת עוקץ' ביקשה לשכלל את התקשורת עם הכלב גם ללא רצועה, והכלבן החל להשתמש במכשירי קשר כדי להעביר פקודות לכלב שנמצא מחוץ לטווח הראייה. הטקטיקות האלה שימשו בשנות התשעים את הכלבנים בסביבות שהיו מסוכנות או מוגבלות מכדי להתלוות

לכלבים. בעקבות זאת, החלו ב'עוקץ' לפתח טכניקות לאימון כלבים לפעול באופן עצמאי ולהיכנס למבנים, מנהרות או מסדרונות מועדים למארב כדי לזהות ולנטרל אימים גם ללא פיקוח ישיר של הכלב. במהלך הפעולה הצבאית בעיראק ובאפגניסטן החלו הכוחות האמריקאים לאמץ שיטות דומות ושלחו כלבים קדימה לסייר בחללים סגורים כדי להפחית את הסיכון לאנשי הצוות. הצלחת צה"ל בשימוש בכלבים לאיתור פירים שלמנהרות, פיצוץ מלכודות ואפילו תקיפת האויב, הביאה את הצבא האמריקאי להעריך מחדש את פוטנציאל הצלת החיים שבשימוש הצבאי בכלבים בסביבות בסיכון גבוה. האימונים המשותפים, במיוחד בין יחידות המבצעים המיוחדים האמריקאיות לעמיתיהן בישראל, חיזקו את הקשר שנבנה, והדוקטרינה והניסיון של ישראל בשדה הקרב סייעו לשפר את ההיערכות של הכלבים האמריקאיים ללוחמה בשטח בנוי.

טכנולוגיות ללוחמת מנהרות: לקחים מהלוחמה התת-קרקעית של ישראל

ישראל מתמודדת זמן רב עם האתגר של אימים תת-קרקעיים, במיוחד מצד חמאס וחיזבאללה, שפיתחו רשת מנהרות מסועפת להברחות, הסתננות ומתקפות פתע. לנוכח הסכנה, ישראל הפכה חלוצה בטכנולוגיות מתקדמות לזיהוי מנהרות, המשלבות מכ"ם חודר קרקע, חיישנים ססמיים, מערכות זיהוי מבוססות בינה מלאכותית, וכן טכניקות לנטרול מהיר של מנהרות. מזה עשור, ארצות הברית וישראל משתפות פעולה בפיתוח טכנולוגיית לוחמת מנהרות כדי להתמודד עם אתגרים מורכבים אלו. שותפות זו הובילה לחקיקת חוק לשיפור שיתוף הפעולה הישראלי-אמריקאי בלוחמת מנהרות, המקצה 80 מיליון דולר מדי שנה (בהשקעה מקבילה של ממשלת ישראל כנגד כל דולר אמריקאי) להרחבת שיתוף הפעולה החיוני בתחום. שיתוף הפעולה הזה השפיע ישירות על אסטרטגיות אבטחת הגבולות של ארצות הברית, במיוחד לאורך הגבול בין ארצות הברית למקסיקו, שם קרטלים להברחת סמים ואנשים שכללו בהדרגה את המעברים התת-קרקעיים. הודות לחיישנים ומתודולוגיות זיהוי שפותחו בישראל (שרובם נבחן ושוכלל בסביבות איום גבוה – רצועת עזה ולבנון – הצליחה רשות המכס והגנת הגבולות האמריקאית לשפר את היכולת לאתר ולהשמיד את המנהרות הללו לפני שהן הופכות פעילות. שיתוף הפעולה המתמשך בין ארצות הברית לישראל בהתמודדות עם אימים תת-קרקעיים מלמד כיצד חדשנות משדה הקרב עשויה לשמש גם מעבר לאזורי לחימה – אבטחת גבולות, הגנה על תשתיות קריטיות ושלילת היתרון האסטרטגי של לוחמה תת-קרקעית מאויבים.

פוד ניווט וטילים מדויקים: יתרון לכוח האווירי הישראלי והאמריקאי

פוד הניווט לייטנינג (LITENING), שפותח במקור על ידי 'רפאל מערכות לחימה מתקדמות' וכיום מיוצר בשיתוף עם חברת Northrop Grumman, הפך לכלי חיוני ביכולת תקיפה אווירית מדויקת של חיל האוויר האמריקאי. הפוד תוכנן לזיהוי מטרות, מעקב והתבייתות בלייזר על המטרה בזמן אמת, וכיום מותקן במטוסי F-16 לתפקיד חדש: הוא מאפשר שימוש ברקטות מונחות לייזר מסוג Hydra-70, ששודרגו באמצעות מערכת הנשק המדויקת APKWS.

במבצעים מהעת האחרונה נגד כטב"מים התקפיים ששיגרו החות"ים, מטוסים אמריקאים משלבים את פוד הניווט לייטנינג עם מערכת APKWS כדי להשמיד את הכטב"מים בשבריר מהעלות של טילי אוויר-אוויר מסורתיים. כל ירי של מערכת APKWS עולה בין 35,000 ל-40,000 דולר, בהשוואה לעלות של 400,000 עד 500,000 דולר לטילי AIM-9 Sidewinder, או תג המחיר של מיליון דולר לטיל MRAM (טיל אוויר-אוויר מתקדם AIM-120 לטווח בינוני). השילוב היצירתי בין מערכת הניווט שפותחה בישראל לבין נשק מדויק אמריקאי שאינו יקר, משקף מגמת מעבר לפתרונות חסכוניים ומותאמים בגודל לצורך הלחימה באיום הכטב"מים - אתגרים שהפכו לסימן ההיכר של הכוח האווירי בימינו.

השיפורים הישראלים ב-F-35: שיפור העליונות האווירית של חיל האוויר האמריקאי

לישראל תפקיד חשוב גם בשיפורים בכוח האוויר האמריקאי. ה-F-35 Lightning II, הנחשב למטוס הקרב החמקני המתקדם בעולם, נהנה מעדכונים פרי המצאה ישראלית שהרחיבו את יכולותיו. חיל האוויר הישראלי היה הגורם הבינלאומי הראשון שעשה שימוש במטוס הקרב. ה-F-35I קיבל בצה"ל את הכינוי "אדיר", ועד מהרה הותאמה הפלטפורמה לסביבה המבצעית הייחודית. ישראל שילבה מערכות לוחמה אלקטרוניות משופרות, חיישנים משודרגים וכלי נשק שפותחו מקומית, וכל אלה תרמו לשכלול ה-F-35.

אחת ההתאמות המשמעותיות ביותר הושגה בעקבות שיתוף פעולה בין מהנדסים ישראלים ללוקהיד מרטין והפנטגון בתוכנית F-35. ההתאמה הביאה לפיתוח יכולת חדשה, המאפשרת נשיאה חיצונית של פצצות חכמות בקוטר גדול על כנפי המטוס. במקור תוכנן האדיר לשאת חימוש רק במתקן הנשיאה הפנימי שלו, וזאת כדי לשמור על יכולת החמקנות, אולם כיום הוא ה-F-35 היחיד בעולם שביצע תקיפות מבצעיות תוך שהוא נושא חימוש חיצוני. השדרוג הגדיל את כושר התקיפה של המטוס והעניק לו יתרון בקרבות אוויר ארוכים, עם מסקנות חשובות לתוכנית ה-F-35 הכללית.

מגן אור: מענה לאיום הכטב"מים

אחד האיומים החמורים ביותר בשדה הקרב הוא השימוש הנרחב שעושה האויב בכטב"מים, במיוחד במתקפות נחילים, שמערכות ההגנה האוויריות המסורתיות מתקשות עדיין להתמודד עמם. בתגובה, ישראל פיתחה את 'מגן אור' - מערכת ההגנה האווירית הראשונה בעולם הפועלת בלייזר בעוצמות גבוהות. מערכת 'מגן אור' פותחה על ידי חברת טכנולוגיות הלחימה הישראלית רפאל, ונועדה להשלים את מערכת ההגנה האווירית הקיימת של 'כיפת ברזל' בפתרון חסכוני וכמעט בלתי מוגבל ליירוט כטב"מים, טילים ומרגמות. בניגוד למערכות הגנה מבוססות טילים כמו 'כיפת ברזל', המחייבות מיירטים יקרים, 'מגן אור' מנטרלת איומים

באמצעות אנרגיית לייזר. למערכת, שצפויה להיכנס השנה לשימוש בישראל, יש פוטנציאל להיות גורם שישנה את כללי המשחק בהגנה על תשתיות צבאיות קריטיות ואזורים עירוניים.

ארצות הברית הביעה עניין רב בטכנולוגיה זו על רקע אתגר מתקפות הכטב"מים, שמתאפיינות בעלות נמוכה ונפח גבוה. האיום ממתקפות נחילי כטב"מים נגד צבא ארצות הברית ובעלות בריתה גובר, ולכן שילוב אמצעי הגנה מבוססי לייזר דוגמת מערכת 'מגן אור' עשוי לספק את הפתרון המבוקש לבעיה המתפתחת.

לוחמה מבוססת AI: שדה הקרב העתידי

חידושים ישראליים מבוססי בינה מלאכותית (AI) מעצבים מחדש את הלוחמה המודרנית ומשפיעים על הפיתוחים הצבאיים בכל העולם. צבא ארצות הברית מפתח גם הוא טכנולוגיות בינה מלאכותית, ומשלב הובלה פורצת דרך עם שאיבת תובנות מההתקדמות הישראלית:

1. **חימוש משוטט 'הארפי' ו'הארוף':** התעשייה האווירית הישראלית פיתחה כטב"מים אוטונומיים המופעלים בעזרת בינה מלאכותית ומסוגלים לזהות ולפגוע במטרות אויב ללא פקודה ישירה מהמפעיל. צבא ארצות הברית הרחיב את הניסויים שהוא עורך בחימוש משוטט ומבוסס AI דומה, לצורך יישומים נגד מכ"ם וכלי רכב.
2. **מערכת ניהול הקרבות Fire Weaver :** מערכת Fire Weaver של רפאל מבצעת בזמן אמת רכישת מטרות ואופטימיזציה של פתיחה באש, באמצעות תיאום מבוסס בינה מלאכותית. ארצות הברית ערכה ניסויים עם רשתות sensor-to-shooter דומות, לשיפור המודעות המצבית בשדה הקרב.
3. **מערכות מבוססות AI להשמדת כטב"מים:** 'כיפת רחפן' של רפאל היא מערכת הגנה מבוססת AI, שנועדה לגלות, לזהות ולנטרל כטב"מים של האויב. על רקע העלייה באיום הכטב"מים מצד שחקנים שאינם מדינתיים, צבא ארצות הברית אימץ טכנולוגיות AI דומות להשמדת כטב"מים, במטרה לשפר את ההגנה על בסיסים ויחידות הפועלות בחזית.
4. **כרמל - רכב קרבי משוריין מבוסס AI:** פרויקט כרמל הישראלי משלב בינה מלאכותית בכלי לחימה משוריינים, להשגת פעולה חצי אוטונומית. תוכנית הדור הבא של הרכבים הקרביים של צבא ארצות הברית עושה שימוש בטכנולוגיות הנעזרות בבינה מלאכותית בדומה לאלו שמיושמות בפרויקט כרמל.
5. **הגנת סייבר ומודיעין אותות מבוססי בינה מלאכותית.** חברות ביטחוניות ישראליות, שרבות מהן מנוהלות על ידי בוגרי יחידת 8200, הן חלוצות בתחום אבטחת סייבר ומודיעין אותות מבוססי בינה מלאכותית. יש להניח שצבא ארצות הברית וסוכנויות הביון האמריקאיות פועלים בשיתוף פעולה הדוק עם חברות ישראליות, כדי לשלב בפעילותם כלים מבוססי בינה מלאכותית וניתוח חיזוי איומים.

פיתוחי הבינה המלאכותית מלמדים על ההתקדמות הכוללת בטכנולוגיות הביטחון הישראליות, שביחד עם ארצות הברית, ממשיכות לעצב את עתיד הלוחמה.

ממערכות הגנה קינטיות כמו 'מעיל רוח' ו'כיפת ברזל', ועד המילה האחרונה ביישומי בינה מלאכותית בניהול קרבות ולוחמת סייבר - החידושים הצבאיים של ישראל שיפרו משמעותית את יכולות הלחימה של ארצות הברית. האתגרים הייחודיים העומדים בפני צה"ל, ובתוכם לוחמה בשטח בנוי, איומים אסימטריים ואויבים עתירי טכנולוגיה, הובילו לפיתוחים פורצי דרך, המתואמים באופן הדוק עם הצרכים של הצבא האמריקאי. בנוסף, השיפורים הישראליים ב-F-35 והפיתוח של מערכת 'מגן אור', מוכיחים כיצד השותפות הביטחונית בין ארצות הברית לישראל אינה רק באימוץ טכנולוגיות, אלא גם בפיתוח הדדי, המצעיד קדימה את הטכנולוגיה הצבאית כדי להקדים את האיומים המתעוררים.

ככל שהלוחמה תמשיך להתפתח, כך השותפות הביטחונית בין ארצות הברית לישראל תמשיך לעמוד בחזית החדשנות הצבאית ותבטיח ששתי המדינות יקדימו את האיומים המתעוררים בעודן מעצבות את שדות הקרב של העתיד.

עורכי הסדרה: ענת קורץ ואלדד שביט