

שילוב טכנולוגיות להגנת העורך מפני איומים בליסטיים וטילי שיוט

יוסי ארזי וגל פרל

מאמר זה דן בטיב המענה ההגנתי האקטיבי לאיום הרקטי על עורך מדינת ישראל. במלחמה כוללת צופה מערכת הביטחון כי העורך יותקף במשך כשלושים יום, ויספוג בכל יום כאלף טילים שיגרמו לאלפי נפגעים ולפגיעה בתשתיות ובאתרים אסטרטגיים. לישראל מערכת ההגנה האקטיבית, שלה חמש שכבות טילי יירוט. בשיתוף עם ארצות הברית פותחה מערכת הגנה מבוססת לייזר כימי בשם "נאוטילוס" שהגזרת המיידית שלה היא מערכת ה-"סקייגארד". ב־2007 נבחרה מערכת "כיפת ברזל", שטיליה יקרים יותר, על פני "סקייגארד" משיקולים כלכליים ומבצעיים. רק מענה משולב, הכולל מערכות טילי הגנה מפני טילים ומערכות לייזר כימי, יהווה פתרון הגנתי אקטיבי מקיף לכלל האיומים, וללא קושי כלכלי משמעותי.

מילות מפתח: כיפת ברזל, הגנה אקטיבית, נשק תלול מסלול, מערכת סקייגארד, מבצע עמוד ענן

רקע

מבצע "עמוד ענן", שהתרחש בנובמבר 2012, חידד מחדש את העובדה כי האיום הרקטי על מדינת ישראל גבר. מול הפיחות המשמעותי באיום התמרון היבשתי מצד מדינות אויב שכנות נגד ישראל, העלה המבצע על סדר היום שוב, וביתר שאת, את קיומו של איום ממשי על מרכזי האוכלוסייה של המדינה.¹ אמר על

אל"מ (מיל.) יוסי ארזי שירת בחיל האוויר כטייס קרב וכראש מחלקת מערכות בלהק ציוד. כיום מנכ"ל עמותת "מגן לעורף".
גל פרל הוא עוזר מחקר בתכנית המאזן הצבאי במזרח התיכון של המכון למחקרי ביטחון לאומי (INSS). שימש כמתמחה בתכנית צבא ואסטרטגיה.

כך בשעתו רא"ל (מיל') גבי אשכנזי: "מי שמייצר יתרון בלחימה זה מי שמצליח להיערך ראשון לאיום הבא".²

מערכת הביטחון צופה כי במלחמה כוללת יותקף העורף במשך כשלושים יום, וזאת על ידי סוריה, חזבאללה וחמאס. הצפי הוא שעורף מדינת ישראל יספוג בכל יום כאלף טילים, רקטות וטילי שיוט למיניהם,³ חלקם מונחי GPS, עם דיוק פגיעה של מטרים בודדים. אומדן הנזק במקרה כזה הוא של אלפי נפגעים, הרס תשתיות ופגיעה באתרים אסטרטגיים.

מדינת ישראל מפתחת ומיישמת מערכת הגנה מפני סוגים שונים של טילים ורקטות, שתפעל מרגע שיגורם. מערכת ההגנה מבוססת על חמש שכבות של טילי הגנה ("כיפת ברזל", "שרביט קסמים", "חץ" 2, "חץ" 3 ו"פטריוט"). הנחת העבודה היא כי משרד הביטחון ישלים את תהליכי הפיתוח של כלל מערכת ההגנה, כולל מערכות מכ"ם ותקשורת, וכי תהייה הצטיידות בטילי ההגנה למיניהם בכמות מספקת למספר ימי לחימה.

ממשלת ישראל החלה באמצע שנות התשעים של המאה הקודמת בשיתוף פעולה תעשייתי ומבצעי הדוק עם ארצות הברית לפיתוח מערכת הגנה מפני קטיושות, המבוססת על לייזר כימי רב עוצמה, שכונתה "נאוטילוס". ייעוד ה"נאוטילוס" היה הגנת קריית שמונה, ואף תוכנן להציבה שם לפני הנסיגה מלבנון במאי 2000. בשנים 2000–2004 נערכו 46 ניסויים להפעלת המערכת נגד איומים בליסטיים שונים, ובהם פצצות מרגמה, רקטות למיניהן ופגזי ארטילריה. כולם יורטו, ללא יוצא מהכלל. במקביל, הסתיים התכנון המלא של מערכת "סקייגארד" – הנגזרת המיידית מה"נאוטילוס" – והיא הייתה מוכנה לייצור. בתחילת 2007 המליצה ועדת נגל, שמונתה על ידי שר הביטחון לבחון את מערכת ההגנה על העורף, להעדיף את מערכת "כיפת ברזל" על פני "סקייגארד", בנימוק שיש יתרון מובהק בהיבטי עלות, כמו גם בהיבטים מבצעיים, לחלופת היירוט הקינטי על פני חלופת היירוט באמצעות לייזר. מאז הופסק המשך פיתוחה של מערכת "סקייגארד", ובכלל זה נפסקו הניסויים לבחינתה. יצוין כי בדוח מבקר המדינה 59'א' (2008) נמתחה ביקורת על אופן גיבוש ההמלצה להעדיף את החלופה הקינטית והודגש, בין היתר, כי לא הוגדר צורך מבצעי התוחם את הפער המבצעי וההישג הנדרש ממערכת הגנה אקטיבית וכי הדבר גרם להרחבת איום הייחוס – מרקטת "קסאם" בלבד לכלל סוגי הירי תלול המסלול קצר הטווח.⁴

מאמר זה נועד להראות כי רק מענה משולב, הכולל מערכות טילי הגנה מפני טילים ורקטות, יחד עם מערכות לייזר כימי רב עוצמה, יביא למימוש פתרון הגנתי אקטיבי מקיף, שיענה לכל סוגי האיומים על העורף – מרכזי האוכלוסייה המשמעותיים והאתרים החיוניים. המאמר יצביע על כך שמענה משולב זה, שיאפשר הגנה במשך זמן לחימה ארוך ככל שיהיה, ניתן למימוש ללא קושי כלכלי

משמעותי ולעומת זאת, כי מערכת המתבססת על טילי הגנה בלבד אינה ישימה, הן מן הבחינה הכלכלית והן משום שאינה יכולה לספק הגנה בחלק מהמתארים המבצעיים.

מתאר האיום לייחוס

תפיסת הביטחון של ישראל גורסת כי בעת מערכה עתידית, נוכח איום המוגדר כסכנה ברורה ומיידית, על מדינת ישראל, החסרה עומק אסטרטגי, לבצע פעולת מנע בהקדם, תוך שאיפה לקיצור משך הלחימה ככל האפשר. זאת, בשל כושר ספיגה נמוך הן מן הבחינה הכלכלית והן מבחינת הנפגעים בנפש. מכאן, שיש לחתור להכרעת האויב בשטחו הוא, באופן מהיר וברור, בכדי להימנע מניהול לחימה בקרבת האוכלוסייה האזרחית בישראל.⁵

צה"ל נערך למימוש תפיסה זו מן הבחינה ההתקפית באמצעות דוקטרינת לחימה הנשענת על שלושה מרכיבים: "הראשון – מהלומת אש הרסנית נגד נכסי הליבה; השני – תמרון מהיר לפגיעה באויב ושיתוק יכולות השיגור ממרחב התמרון; והשלישי – כושר עמידה ויכולת התגוננות בחזית האזרחית".⁶ דוקטרינה זו מתבססת על ההנחה שכאשר יפרוץ עימות צבאי בסדר גודל דומה לזה של מלחמת לבנון השנייה או מבצע "עופרת יצוקה", הן מבחינת עצימותו והן מבחינת איום הירי של מאות רקטות וטילים ביממה, לא יהיה ברשות ישראל מרחב פעולה רב במובנים של זמן, מרחב ולגיטימציה להפעלת כוח, ולכן מוטב יהיה לפעול במהלומת אש ולהכות את האויב, בדומה לתקיפת מפקדות חזבאללה בביירות במלחמת לבנון השנייה, במטרה להשיג "אפקט דאחיה" ולהרתיע את האויב.⁷ אמר על כך בשעתו רא"ל בני גנץ: "במציאות, כאשר נפגע באופן רציני ביכולת השיגור של האויב, וכאשר ההישגים שלנו על הקרקע יהיו ברורים והצד האחר יתחנן להפסקת אש, לא יהיה ספק מי המנצח ומי המנוצח".⁸

עצם השאיפה לקיצור משך הלחימה אינה מבטיחה כי משך המערכה אכן יהיה קצר.⁹ בחינה של מלחמת לבנון השנייה, בה לחם צה"ל נגד חזבאללה לבדו במשך 34 ימים, תראה כי הארגון ירה במהלכה לעבר העורף הישראלי כ-4,000 רקטות מסוגים שונים (לקראת סופה שוגרו כ-250 רקטות ביום), ובכך שיתק את מהלך החיים התקין של תושבי צפון המדינה.¹⁰ קיימת סבירות לא מבוטלת כי לחימה עתידית נגד סוריה, חזבאללה וחמאס תימשך הרבה יותר מיומיים-שלושה, ויתכן שתמשך אף שלושים ימים, כפי שצופה מערכת הביטחון.

האיום הרקטי על מדינת ישראל הולך ומתעצם מכל בחינה¹¹ – כמויות, טווחי הירי, גודל הראש הקרבי ודיוק הפגיעה. אזורי השיגור מתפרסים מטווח של מאות מטרים מהגבול (פצמ"רים) ועד 1,500 ק"מ ומעלה (טילי "שיהאב" מאיראן). זהו איום מתמשך ומתפתח, הן מבחינת החימוש, ההופך למדויק והרסני בהרבה, הן

מבחינת התרחבות האיום – בעבר היה האיום של נשק תלול מסלול רלוונטי לגבולה הצפוני של מדינת ישראל בלבד, ואילו היום הוא קיים גם מכיוון רצועת עזה ואף מחצי האי סיני ומאיראן – והן מבחינת כמות החימוש המצוי בידי האויב.¹² על מדינת ישראל לנתח איום זה ולתכנן בהתאם לו את מערכות ההגנה שלה. בהיבט הכמותי, מדובר באיום של אלפים בודדים עד מאות אלפי טילים ורקטות, כולל פצצות מרגמה, לטווחים של עד מספר קילומטרים, המהווים את אחד האיומים העיקריים על יישובי "עוטף עזה"; ברקטות "קסאם" ו"גראד", המשוגרות לטווחים של שלושה עד כארבעים ק"מ; ברקטות לטווח בינוני-קצר מסוג "פג'ר", שהטווח שלהן הוא שישים עד תשעים ק"מ; ברקטות F110 ו-M600 המשוגרות לטווחים של 200 עד 300 ק"מ, עם ראשי נפץ של 200 ק"ג ומעלה ודיוק GPS; ובטילי "סקאד" לטווחים של 200 עד 700 ק"מ, בעלי ראשי נפץ של מאות קילוגרמים, העשויים לשאת רש"ק כימי או ביולוגי. ניתן להוסיף לקשת איומים זו את טילי "שיהאב" 3 ו-4 של איראן, להם פוטנציאל לשאת גם ראשי קרב גרעיניים, ואת טילי השיוט, שהמסוכן שבהם הוא P800 ("יאחונט") מתוצרת רוסיה, המצוי בידי סוריה. לטיל זה דיוק GPS והוא משייט בגובה של 10-15 מטרים ובמהירות של עד 2.5 מאך. לטילים אלה פוטנציאל הרס של כל המטרות האסטרטגיות במדינת ישראל, כבר בשלב הפתיחה של העימות.

הבסיס לתכנון מערכת ההגנה, כמוצע במאמר זה, הוא ההנחה של מערכת הביטחון כי יש לקבוע מודל כמותי לכל סוג איום שישוגר לעבר ישראל בכל אחד משלושים ימי הלחימה. זאת, אף שניתן להניח כי ככל שהלחימה תימשך, ירד קצב השיגורים נגד מדינת ישראל, כפי שאכן אירע במבצע "עופרת יצוקה": בתחילתו הגיב חמאס בירי מאות רקטות ביממה, אך זה פחת במהלך המבצע לכדי עשרות ביום, ולבסוף הגיע ל-13 רקטות.¹³ הערכה גורסת כי בכל יום נתון ישוגרו לעבר מדינת ישראל מאות פצצות מרגמה, כ-800 רקטות קצרות טווח – מ"קסאם" 1 ועד "גראד" משופר – כמאה רקטות וטילים לטווח בינוני-קצר, ובהם רקטות "פג'ר" ו-F110 וכן טילי "זלזאל", כמאה טילים ורקטות לטווח בינוני ומעלה, ובהם רקטות M600, טילי "סקאד" וטילי "שיהאב" מאיראן, וכן כמה עשרות טילי שיוט.¹⁴

דרישות בסיסיות ממערכת הגנה מיטבית

מול קשת רחבה זו של איומים יש להציב מערכת שתוכל להתמודד באופן אופטימלי עם כמות רבה של איומי נשק תלול מסלול ורקטות מסוגים שונים, ולהשמידם לפני הגעתם לקרקע, ללא קשר למשך העימות הצבאי. מערכת אידיאלית תהיה מסוגלת ליירט תחת מגבלות מינימאליות ככל האפשר את מרב האיומים שביכולת האויב לשגר, כולל ירי במטחים, ולשמור על יכולתה זאת לאורך זמן, ככל שיידרש; עלות השמדת איום באמצעותה תהיה נמוכה ביותר, בכדי למנוע הגבלה כלכלית

על הפעלתה; ניתן יהיה להפעילה נגד כל סוגי האיומים הבליסטיים וטילי השיוט ובכל מזג אוויר; זמן התגובה מרגע שיגור האיום או מכניסתו למעטפת ההגנה ועד להשמדתו יהיה קצר ביותר, כדי לאפשר פעולה נגד איומים הנורים לטווחים קצרים במיוחד; ההצטיידות בסיום הלחימה, כהכנה לעימות הבא, לא תדרוש השקעות מסיביות, שפן לא יתחייב פיתוח טכנולוגי כל אימת שאיום חדש מופיע בזירה. מאמר זה יבחן ויעריך את הפתרונות השונים ושילובם, לאור יכולתם לעמוד בדרישות אלו.

מערכת טילי הגנה בלבד – יתרונות, חסרונות ושימות

היתרון המבצעי העיקרי של מערכת המבוססת על טילי הגנה בלבד הוא יכולתה לפעול בכל תנאי מזג אוויר (בהנחה שכך היא מתוכננת). יתרון נוסף הוא עצם הימצאותה בשלבי יישום שונים – השלמת פיתוח ("כיפת ברזל" ו"חץ" 2), פיתוח ראשוני ("שרביט קסמים" ו"חץ" 3) והצטיידות ("כיפת ברזל", "חץ" 2 ו"פטריוט") – המאפשרים הצטיידות מהירה יותר. החיסרון של מערכת כזו הוא שהופעת איום חדש מחייבת פיתוח של טיל הגנה חדש נגדו.

מערכת הגנה הנסמכת על טילי הגנה בלבד מוטעית מיסודה: לא ניתן לתקצב רכש טילי הגנה שיתחרה בכמות האיומים שבידי האויב, שפן הוא דורש סכומי עתק שאין למדינת ישראל יכולת להקצותם, כפי שיוצג בהמשך. המסקנה היא כי ברשות צה"ל תהיה רק כמות קטנה יחסית של טילים נגד טילים, ההגנה תהיה חלקית בלבד, והיא תקטן ותפחת ככל שהלחימה תימשך.

ישנם חסרונות נוספים למערכת המבוססת על טילי הגנה בלבד, הנובעים מאי-עמידה בדרישות המבצעיות נוכח האיום. כך, למשל, למערכת "כיפת ברזל" אין יכולת להתמודד עם איומי רקטות "קסאם" למיניהן וטילי "גראד" רגילים ומשופרים, הנורים לטווחים קצרים של כשלושה עד כ-15 ק"מ.¹⁵ הסיבה לכך היא זמן המעוף הקצר של האיום. כמו כן, אין למערכת "כיפת ברזל" יכולת להגן מפני פצצות מרגמה. המשמעות היא שההגנה על יישובים הקרובים לגבול, עד כדי 10–15 ק"מ ממנו, לוקה בחסר:¹⁶ יותר ממיליון תושבים, המתגוררים לאורך גבולות המדינה, יישארו חשופים לירי טילים מבלי שתהיה הגנה טובה עליהם. בנוסף לכך, לטילי ההגנה לסוגיהם אין כנראה יכולת להתמודד עם טילי שיוט, בעיקר לא עם P800 הרוסי.

הגדלת דיוקן של הרקטות תביא לקריסת התפיסה של ירי סלקטיבי, כלומר אי-יירוט האיומים שיפלו בשטחים פתוחים יביא לצורך ליירט את כולם וישפיע השפעה חמורה מבחינה כלכלית. זאת ועוד, סיום הלחימה יחייב חידוש המלאי של כל טילי ההגנה שנורו במהלכה. הצטיידות זו תימשך שנים רבות ובעלות גבוהה מאד, שעד השלמתה תיוותר המדינה חשופה לאיום.

מצדדי מערכת "כיפת ברזל" גורסים, כפי שאמר אלוף פיקוד הצפון דאז, גדי איזנקוט, כי היא "צריכה להיות מופנית בראש ובראשונה לשימור היכולת ההתקפית של צה"ל ולא להגנת אזרחים" וכי עליה להגן על תשתיות חיוניות של המדינה, על בסיסי צה"ל ועל נקודות לריכוז כוחות; המהלך ההתקפי שיבצע צה"ל יביא, תוך כשלושה ימים, לצמצום משמעותי של הירי ולפגיעה כזו באויב, שתביא להפסקת הירי,¹⁷ ומכאן שהמערכת אינה נדרשת להתמודד עם כמות רבה של רקטות. לדברי תא"ל (מיל') דני גולד, ששימש כראש מחלקת המחקר והפיתוח במשרד הביטחון, המערכת הקיימת מהווה הוכחה לנכונות המדינה למגן את אזרחיה וקניינם, כמו גם לאפשר את המשך פעולת המשק בעת מלחמה.¹⁸ בנוסף לכך, מערכת "כיפת ברזל" מאפשרת לדרג המדיני מרחב תמרון רחב יותר בעת מהלך צבאי.¹⁹ זאת ועוד, מחקר שערך עוזי רובין, בעבר ראש מנהלת "חומה" במשרד הביטחון, מצביע על כך, שבניגוד למלחמת לבנון השנייה, במהלכה נדרש חזבאללה לירות 75 רקטות במוצע כדי להרוג אדם אחד, מערכת "כיפת ברזל" שיפירה את היחס פי חמישה, עד כדי צורך של חזבאללה לירות 375 רקטות כדי להרוג אדם אחד.²⁰

מכלול הגנה המבוסס על לייזר כימי רב-עוצמה – יתרונות, חסרונות ושימות

מערכות לייזר קרקעיות – "נאוטילוס" ו"סקייגארד"

מערכת "נאוטילוס" פותחה לצורך הגנה על קריית שמונה מפני הקטיושות שנורו אליה מלבנון החל משנות השבעים של המאה הקודמת. הפיתוח החל ביוני 1996 והסתיים ביוני 2000, עם ביצוע שני ניסויים מוצלחים שכללו השמדת רקטות בעת מעופן. מאז יוני 2000 ועד נובמבר 2004 בוצעו עשרות ניסויים במערכת, במהלכם היא יירטה את כל 46 האיומים ששוגרו נגדה: 31 קטיושות ורקטות אחרות, חמישה פגזי ארטילריה 152 מ"מ ועשר פצצות מרגמה, מהן שלוש שנורו כמטח.²¹ מערכת "סקייגארד" מהווה, כאמור, פיתוח ישיר של מערכת "נאוטילוס". התכנון ההנדסי המפורט שלה נעשה בשנים 2000–2005, והוצג בפני הצבא האמריקאי ונציגי משרד הביטחון באוגוסט 2005. השיפורים העיקריים במערכת "סקייגארד", בהשוואה ל"נאוטילוס",²² הם הקטנת ממדי המערכת פי ארבעה והגדלת שטף האנרגיה על המטרה פי ארבעה עד פי חמישה. כתוצאה מכך גדל הטווח היעיל שלה לכעשרה ק"מ (15 ק"מ עם אופטיקה אדפטיבית). מנתון זה ניתן לגזור, כי באמצעות שימוש בשמונה מערכות "סקייגארד" בלבד ניתן להגן על כל מרחב יישובי "עוטף עזה", כי ב-26 מערכות כאלו ניתן להגן על כל אזור הצפון – מקריית שמונה ועד קו חיפה-עפולה-בית שאן – וכי סך כולל של שמונים מערכות כאלו יוכל להגן על כלל ארבעים מרכזי האוכלוסין הגדולים והאתרים האסטרטגיים

במדינת ישראל.²³ בנוסף לכך, החברה המפתחת את "סקייגארד" התחייבה בפני משרד הביטחון לעמוד בסטנדרטים צבאיים מלאים (זמינות, אמינות, תחזוקה ויבילות) ולספק, על בסיס השלמת התכנון ההנדסי,²⁴ מערכות "סקייגארד" החל מ־18 חודשים מקבלת החלטה, במחיר קבוע ותוך נכונות לשאת בקנסות פיגורים. מערכת "סקייגארד" צורכת להפעלתה חמישה סוגים שונים של גזים (חנקן פלואורי, מימן, אתילן, הליום, חמצן) וכן דלק מטוסים סילוני. כולם סחירים בשוק החופשי, אינרטיים, לא רעילים ולא מתפוצצים (עלולה להיווצר שריפה במקרה של פגיעה ישירה בהם). תוצרי הלוואי לאחר השימוש בלייזר ("לְזִירָה") כוללים פחמן פלואורי וחומצה פלואורית (HF/DF) המסוכנים לבריאות. טווח הביטחון הנדרש מהם הוא מאה מטרים, וירד עד עשרים-שלושים מטרים, אם יותקן מסנן מיוחד במערכת. ליד כל יחידת "סקייגארד" קרקעית מוצבות שתי מכליות (בגודל מכלית רגילה לאספקת דלק), המכילות את הגזים והדלק הנדרשים לארבעים שניות של לזירה רצופה (מתאים להשמדת עשרים איזמים בממוצע). זמן מיתוג ממכלית אחת לשנייה הוא מספר שניות וזמן החלפת מכלית ריקה במלאה הוא בן שתיים לשלוש דקות.

יתרונותיה של מערכת "סקייגארד" הקרקעית הם גם במושגי יסוד בתחום הירי. המושג "החטאה" אינו קיים במערכת, עקב הנעילה של קרן הלייזר על האנרגיה החוזרת מהמטרה. למעשה, יש למערכת "מחסנית אין סופית" וזמינה של דלקים וגזים הנדרשים לתפעולה, שניתן יהיה לספקם בדומה לתדלוק מטוסי חיל האוויר. המערכת תשמיד כל מטרה שתיכנס לטווח הכיסוי שלה (כ־10–15 ק"מ), כפי שהוכח בניסויים, ותהיה יעילה הן נגד פצצות מרגמה והן נגד מגוון סוגי הטילים והרקטות, כולל טילי "שיהאב" 4 הנורים לטווחים של עד כ־2,000 ק"מ, וגם תענה לאיום של טילי השיוט. הקצב הממוצע של השמדת מטרות על ידי המערכת הוא אחת לכשלוש שניות, כולל המעבר למטרה הבאה. כך יתאפשר להשמיד מטחים של טילים הנורים בזמנית. לדוגמה, נדרשות כ־38 שניות מרגע כניסתה של רקטת "גראד" משופרת, המשוגרת לטווח של ארבעים ק"מ, לטווח היעיל של "סקייגארד" (15 ק"מ) ועד לפגיעתה בקרקע. המערכת תוכל להשמיד מטח של כ־11 רקטות כאלו, שנורו בזמנית (שתי מערכות שיגנו על אותו אתר יוכלו להשמיד 22 איזמים שנורו בזמנית).

מערכת "סקייגארד" פועלת במהירות האור, ולפיכך אין צורך בשדרוגה כאשר מופיעים איזמים מתקדמים יותר. היא גם מאפשרת ליירט את המטרה מיד לאחר גילויה, ללא צורך בשערוך נקודת היירוט. מכאן שניתן להשמיד באמצעותה איזמים תוך פחות מחמש שניות מרגע שיגורם או מרגע כניסתם לטווח היעיל שלה. זאת ועוד, עלות היירוט של המערכת נמוכה ביותר – כ־1,000–3,000 דולר²⁵ (מחיר הגזים והדלק המשמשים ליצירת קרן הלייזר משתנה בהתאם לטווח) – לעומת

עלות של מאות אלפי דולרים (שני טילי "כיפת ברזל" עבור מטרה אחת) ועד כמה מיליוני דולרים (עלותם של שני טילים כמו "שרביט קסמים" או "חץ", הדרושים לאותה פעולה). למערכת "סקייגארד" יש יכולת הגנה עצמית מפני כל איום בליסטי הנורה אליה, הטכנולוגיה שלה זמינה והיא הוכחה בעשרות ניסויים. החיסרון העיקרי של מערכת "סקייגארד" הוא ירידה משמעותית בטווח היעיל של קרן הלייזר כאשר יש צורך לחדור עננות סמיכה וצפופה (מ-5/8 ומעלה). במצב זה יש צורך להסתמך על טילי ההגנה. גם אז תוכל מערכת "סקייגארד" ליירט איומים בליסטיים עם רדתם מתחת לבסיס הענן, כאשר קרן הלייזר "תמתין" להם בנקודה בה הם ייחשפו מחדש.

מערכת "סקייגארד" מוטסת

בתחילת שנות התשעים של המאה הקודמת החלה ארצות הברית לפתח מערכת לייזר רב עוצמה מוטסת, הנקראת ABL, שמותקנת במטוס "בואינג" 747. ייעודה הוגדר כהשמדת טילים בליסטיים בשלב ההאצה שלהם, בטווחים של מאות ק"מ מהמטוס המיירט. לאחר תהליך פיתוח ממושך בוצע בפברואר 2010 ניסוי ראשון במערכת, בו יורטו שני טילים בליסטיים לאחר שיגורם, בטווח קרוב למאה ק"מ ממטוס ה-ABL.²⁶ הייתה זו היסטוריה בהתהוותה. להצלחת הניסוי משמעות רבה: לראשונה בהיסטוריה הושמדו טילים בליסטיים מהאוויר, ובטווחים גדולים מאד. הניסוי הוכיח, אפוא, את ישימותה הטכנולוגית של המערכת.

היירוטים של המערכת המוטסת מתבצעים מעל העננים, מעל תופעות מזג האוויר. כל טיל שמשוגר לטווחים של כשלושים ק"מ ומעלה מגיע לגבהים העולים על 40,000 רגל, וככל שהטווח עולה – כך גדל גם הגובה אליו הוא מגיע. לכן, המערכת המוטסת תוכל להשמיד כל איום שמשוגר מטווחים שנעים החל משלושים ק"מ ועד לטווח המרבי ממנו מאוימת ישראל – כאלפיים ק"מ. זאת ועוד, כיוון שתחילת היירוט תהיה בטווחים גדולים מאד מהמטוס המיירט, תהיה לו אפשרות להשמיד גם ראשים מתפצלים, כאשר כל "פיצול" יורט בנפרד.

בשנת 2003 הציעה חברת "נורתרוֹפ־גרומן" למשרד הביטחון להתקין מערכת "סקייגארד" רגילה במטוס תובלה בינוני. כינויה של המערכת היה ARIEL. תצורה זו אפשרה להשמיד איומים בטווחים של כ-130 עד 150 ק"מ מהמטוס המיירט. מאמר זה מציע לבחון תצורה משופרת של מערכת "סקייגארד" מוטסת: הגדלת ההספק לשלושה מגוואט והגדלת קוטר האופטיקה ל-1.5 מטר, כפי שבוצע ב-ABL. ניתן להתקינה במטוס גדול, כמו "בואינג" 300-747, שיאפשר לשאת כמות גדולה של דלק וגזים לביצוע מספר רב של יירוטים. מספר מטוסים כאלה, שיטוסו "מסביב לשעון", יוכלו ליירט כל איום בליסטי, וזאת בשילוב עם שכבות ההגנה של טילים נגד טילים.

יכולותיה הצפויות של מערכת "אריאל" המשופרת, בדומה למערכת ABL, הן יירוט איזמים בליסטיים שנמצאים בטווח של עד כ-400 ק"מ ממנה, ומעל גובה של כ-30,000 רגל. חישובים ראשוניים מראים שניתן להפיק כמאתיים ויותר לזירות, קרי העברה קבועה של אנרגיית לייזר אל המטרה כדי להשמידה, עד הגעה לצורך לתדלוק המטוס מחדש בגזים ובדלק הדרושים ללזירה. חישובים תרמיים מראים כי ניתן להניח זמן לזירה נדרש של כחמש שניות להשמדת האיום של טילי "שיהאב" ו"סקאד" D, ועוד כשתי שניות למעבר לאיום הבא. זמן הלזירה שיידרש עבור יתר האיזמים, מ"סקאד" C ומטה, הוא כשלוש שניות, ועוד שתי שניות למעבר לאיום הבא. זמני היירוט (ברוטו) יהיו שבע שניות וחמש שניות בהתאמה (יצוין, כי כל הנתונים וההנחות שהוצגו לעיל מחייבים בדיקת היתכנות מדוקדקת, שתכלול גם ניסויי טיסה). מערכת "אריאל" תוכל ליירט כל איום בליסטי שיזרה לטווח העולה על כשלושים ק"מ ובמטחים צפופים, ככל שהאויב יוכל לייצר. יתר הרקטות הטקטיות, מ"גראד" רגיל ומטה, שאינן עוברות גובה של 30,000 רגל בעת מעופן, יירוטו על ידי מערכות "סקייגארד" הקרקעיות וטילי "כיפת ברזל", בטווחים בהם הם יעילים.

הפעילות במערכת ה-ABL הופסקה בשנת 2011. לדבריו של רוברט גייטס, שר ההגנה לשעבר של ארצות הברית, הסיבה לכך הייתה שאין למערכת די הספק כדי לאפשר למטוס לפעול מחוץ לגבולותיה של איראן.²⁷ הגבלה זו אינה רלוונטית לישראל, משום שהמטוס יוכל לשהות באוויר מעל שטח השלה ויירט את האיזמים בשלב החדירה שלהם, כשמרחקם הוא כ-400 ק"מ ומטה ממטרתם.²⁸

מתאר תקציבי

בניתוח המתאר התקציבי של מערכת הגנה משולבת יש להניח את הנחות היסוד הבאות:

1. מתאר הלחימה הוא כמפורט בפרק "מתאר האיום" לעיל.
2. מערכת הביטחון תמשיך ותשקיע במערכות טילי הגנה. הערכת עלות ההצטיידות בטילי הגנה בלבד מתבססת על ההנחות הבאות: הכנת מלאי לארבעים ימי לחימה והצטיידות בטילים במקום אלה שנורו במהלכם של שלושים ימי הלחימה. כדי להגיע לסיכוי הצלחה סביר ליירוט איום יידרשו שני טילי הגנה. מחיר טיל "כיפת ברזל" הוא 100,000 דולר,²⁹ מחיר טיל "שרביט קסמים" הוא 1,250,000 דולר ומחיר טיל "חץ" 2/3 הינו כ-3,000,000 דולר. הערכת העלות הצפויה של אלמנט הלייזר המוטס והקרקעי במערכת המשולבת מתבססת על חמש מערכות "סקייגארד" מוטסות ושמונים מערכות "סקייגארד" קרקעיות. תשתיות המכ"ם והתקשורת עבור מערכות טילי ההגנה תתמוכנה גם במערכות הלייזר.

ההשקעה הנדרשת להצטיידות בטילי הגנה בלבד (ללא משגרים, ללא מערכות תומכות ותשתיות) היא כדלהלן: ליירוט 250 רקטות קצרות טווח בכל יום, העתידות ליפול בשטחים בנויים (מתוך 800 רקטות שישוגרו), יידרשו 500 טילי "כיפת ברזל", שעלותם תגיע עד שני מיליארד דולר להתכוננות לארבעים ימי לחימה; יירוטם של מאה טילים ורקטות לטווח בינוני יחייב שימוש במאתיים טילי "שרביט קסמים" בכל יום לחימה, בעלות שתסתכם בעשרה מיליארד דולר עבור הכנות לארבעים ימי לחימה; עלותם של מאתיים טילי "חץ" ו"פטריוט", ליירוט האימונים ארוכי הטווח בכל יום, תגיע עד 24 מיליארד דולר. בסה"כ יהיה צורך בכ-36 מיליארד דולר עבור הצטיידות במלאי לארבעים ימי לחימה. מחיר ה"לחיצות על ההדק" בלבד ביום לחימה אחד יהיה כ-900 מיליון דולר. מחיר ההצטיידות לאחר הלחימה במלאי שישלים את כמות הטילים שיירו במשך שלושים ימי הלחימה יגיע ל-27 מיליארד דולר (3/4 מהמחיר עבור ההצטיידות לארבעים ימים). העלות הכוללת של הכנת מלאי טילים לארבעים יום והצטיידות בהם מחדש לאחר שלושים ימי לחימה תגיע ל-63 מיליארד דולר. אלה סכומים שלא ניתן לעמוד בהם ויש להניח שלעולם לא יוקצו.

השקעה במערכות "סקייגארד" קרקעיות ומוטסות

מערכות לייזר קרקעיות

- המפרט שהגישה חברת "נורתרופ-גרומן" בשנת 2007 נוקב במחירים הבאים:
- 310 מיליון דולר עבור שלוש מערכות "סקייגארד" ראשונות.
 - ארבעים עד חמישים מיליון דולר עבור מערכת בייצור (בהתאם לכמות שתוזמן).

המחיר כולל תקשורת וכן מכ"ם ייחודי לכל מערכת "סקייגארד", שמחירו כ-15 מיליון דולר. יש צורך במכ"ם אחד שיזין ארבע עד חמש מערכות, כך שניתן להניח מחיר של כשלושים מיליון דולר למערכת "סקייגארד" בייצור סדרתי. המחיר עבור 77 המערכות הנותרות יהיה כ-2.3 מיליארד דולר. בנוסף לכך יידרשו מאתיים מיליון דולר (הערכה) לתשתיות תדלוק ו-300 מיליון דולר (הערכה) לתשתיות מנהלתיות ותחזוקתיות ולחלפים. בסה"כ יידרשו, אפוא, כ-3.1 מיליארד דולר עבור שמונים מערכות "סקייגארד" קרקעיות, להגנה על ארבעים האתרים החיוניים במדינה ועל מרכזי האוכלוסין שלה.

מערכות לייזר מוטסות

שלב הפיתוח למערכות מוטסות ידרוש עד מאה מיליון דולר עבור "בואינג" 747 משומש (הערכה) וכ-250 מיליון דולר לבניית אב טיפוס של מערכת "סקייגארד"

מוטסת ראשונה (מבוסס על מכתבה של חברת "נורתרו־גרומן", בו ננקב סכום של 177 מיליון דולר למערכת "סקייגארד" קרקעית ראשונה).

המערכת המוטסת פשוטה ליישום בהשוואה למערכת הקרקעית, עקב ביטול הצורך במרב יכולותיה של מערכת התת־לחץ הנדרשת לייצור קרן הלייזר (בגובה 40,000 רגל יש תת־לחץ באופן טבעי). על הוצאות אלו יתוספו כמאה מיליון דולר לצרכי תכנון וביצוע ההתקנה במטוס ומאה מיליון דולר נוספים לצרכי ניסויים. כמו כן, יידרשו כמאה מיליון דולר לתשתיות תחזוקה ותדלוק מערכות הלייזר על הקרקע ועוד כחמישים מיליון דולר להוצאות אחרות – סה"כ כ־700 מיליון דולר לשלב הפיתוח וייצור המטוס הראשון.

הצטיידות בארבע מערכות "סקייגארד" מוטסות נוספות תעלה כ־120 מיליון דולר למטוס עם התקנה ועוד חמישים מיליון דולר מחיר מערכת הלייזר (בהשוואה לשלושים מיליון דולר – מחירה של מערכת "סקייגארד" קרקעית) וכעשרים מיליון דולר לצרכי חלפים, תמיכה תחזוקתית והוצאות נוספות. מחיר מטוס אחד בהצטיידות יהיה לפיכך כ־190 מיליון דולר, ומחירם של ארבעת המטוסים הנוספים יהיה כ־760 מיליון דולר. מחיר ההצטיידות הכולל במערכות לייזר קרקעיות ומוטסות, כולל תמיכה תחזוקתית, מערכות עזר מבצעיות ועוד, צפוי שיגיע לכ־4.6 מיליארד דולר – השקעה שתיפרס על פני כשמונה שנים. זו השקעה שניתנת לביצוע מהבחינה הכלכלית.

עלות שלושים ימי לחימה עם מערכות "סקייגארד" בלבד

עלות יום לחימה אחד, שיכלול אלף "לזירות" להשמדת כל אלף האיומים, יגיע לשני מיליון דולר. עלות 72 שעות טיסה (שלושה מטוסים ברציפות, לפי 15,000 דולר לשעה) תהיה 11 מיליון דולר, ובסה"כ 13 מיליון דולר ליום. זאת, בהשוואה ל־900 מיליון דולר ליום שהם מחיר ההתגוננות (החלקית) עם מערכות טילי ההגנה. עלותם של שלושים ימי הלחימה עם מערכות "סקייגארד" תהיה כ־400 מיליון דולר, בהשוואה ל־63 מיליארד דולר – עלות טילי ההגנה בלבד.

טבלת השוואה – ביצועים ועלויות

מירט סוג איום, תכונות ועלויות	"כיפת ברזל" "שרביט קסמים"	"חץ" 2	"חץ" 3	מערכת "סקייגארד" קרקעית	מערכת "סקייגארד" מוטסת
פצמ"רים	/	/	/	V ¹	/
טיל שיוט P800	/	/	/	V ¹ מטח של 5-4 טילים	/
"קסאמים" ו"גראדים" 15-12 ק"מ	/	/	/	V ¹	/
"גראדים" לטווח 15-40 ק"מ	V	/	/	V ¹ מטח של 12-10 טילים	V ^{1,2} מטח של 30-10 טילים
"פג"ר" 5,3	V	אולי	/	V ¹ מטח של 10-9 טילים	V ^{1,3} מטח של 23-15 טילים
"זלזאל", F110, M600	/	V	אולי	V ¹ מטח של 5-4 טילים	V ^{1,3} מטח של 52-18 טילים
"סקאד" C, B	/	V	אולי	V ¹ מטח של 3-2 טילים	V ^{3,4} מטח של 64-56 טילים
"סקאד" D, "שיהאב" 4,3	/	/	V	V ¹ מטח של 2-1 טילים	V ^{3,4} מטח של 33-15 טילים
עלות יירוט אחד (שני טילים)	200,000 דולר	2.5 מיליון דולר	6 מיליון דולר	6 מיליון דולר	עד 3,000 דולר
עלות יום לחימה	50 מיליון דולר (250 יירוטים)	250 מיליון דולר (100 יירוטים)	300 מיליון דולר (50 יירוטים)	300 מיליון דולר (50 יירוטים)	3-2 מיליון דולר, כולל 72 שעות טיסה

1. השמדת איום כל שלוש שניות.
2. ירי לטווח מעל שלושים ק"מ.
3. ייורטו איומים מתחת לטווח של 400 ק"מ ומעל גובה של 30,000 רגל.
4. זמן "לזירה" (משוער) – שלוש-חמש שניות.

יעילותו של הפתרון המשולב

הפתרון המשולב מאפשר ליישם, הן מהבחינה המבצעית והן מהבחינה הכלכלית, מערכת הגנה כוללת, אפקטיבית ויעילה להגנת כל העורך. לפי המתאר התקציבי,

תמורת השקעה של כ-4.6 מיליארד דולר במערכות הלייזר הקרקעיות והמוטסות ניתן לחסוך למעלה מ-55 מיליארד דולר מעלותם של טילי ההגנה בלבד, דבר ההופך את המערכת המשולבת לבת-יישום.

המערכת המשולבת תכלול כחמישה מטוסי לייזר רב עוצמה ("אריאל"), חמש שכבות הגנה של טילים נגד טילים ("כיפת ברזל", "שרביט קסמים", "חץ" 2, "חץ" 3 ו"פטריוט") בכמויות ובפריסה כפי שייקבעו על ידי מערכת הביטחון, ושמונים מערכות "סקייגארד" קרקעיות. אותן מערכות מכ"ם, תקשורת ושליטה, המיועדות לתמוך בטיילי ההגנה, תתמוכנה גם במערכות הלייזר הקרקעיות והמוטסות.

שילוב זה עומד בכל הקריטריונים הנדרשים ממערכת הגנה אולטימטיבית אידיאלית. מערכת משולבת כזו תאפשר הגנה מפני פצצות מרגמה וטיילי שיוט, הגנת היישובים הקרובים לגבול ומענה הגנתי כפול ברוב המקרים – על ידי מערכות הלייזר ועל ידי טילי ההגנה. מטעמי חיסכון, יש להעדיף תמיד את הפעלת מערכות הלייזר, בעוד שטיילי ההגנה יהוו גיבוי למערכות הלייזר הקרקעיות במקרה של מזג אוויר גרוע ובעת הצורך להגן מפני מטחים צפופים במיוחד.

מבצע "עמוד ענן" כמקרה ייחודי – הגנה מפני כל האיומים המשוגרים מרצועת עזה

מבצע "עמוד ענן" הוא ייחודי, עקב היותו העימות הראשון בו הייתה למדינת ישראל מערכת הגנה אקטיבית – "כיפת ברזל" – שאף נעשה בה שימוש נרחב יחסית. המבצע החל, כפי שהמליץ הדרג הצבאי לדרג המדיני, כמהלך סדור ומתוכנן, שיעדיו היו חיזוק ההרתעה, פגיעה קשה במערך הרקטות של חמאס וארגוני הטרור האחרים ופגיעה כואבת בהם עצמם, והפסקת הירי הרקטי מרצועת עזה על מדינת ישראל.³⁰ מהלך הפתיחה של המבצע כלל את חיסול אחמד ג'עברי, מפקד הזרוע הצבאית של חמאס ברצועת עזה, בתקיפה מהאוויר, ותקיפה אווירית נוספת שיעדיה היו מחסנים ובורות שיגור שבהם היו רקטות "פג'ר" 5 לטווח של כ-75 ק"מ. ניכר כי צה"ל פעל לקיצור משך הלחימה. הדבר בא לידי ביטוי הן בחתירת הדרג המדיני להשגת מנגנון סיום למבצע³¹ והן בהנחיית הרמטכ"ל, בני גנץ, "להמשיך ולתקוף בכל הכוח, להגביר את הקצב"³², וזאת בהתאם לתפיסה כי יש להשיג את היעדים במהירות.

אין ספק שלמערכת "כיפת ברזל" הייתה תרומה משמעותית למורל של העורף בעת הלחימה. במהלך המבצע ירה חמאס 1,506 רקטות לעבר מדינת ישראל, אולם רק 479 מתוכן נורו לשטחים מאוכלסים. "כיפת ברזל" הצליחה ליירט 421 רקטות ולהשיג בכך שיעורי הצלחה של 84 אחוזים.³³

אין כל ספק שככל שמערכת ההגנה תהיה יעילה יותר, המורל של העורף ויכולתו להמשיך ולהתמודד יהיו טובים באופן משמעותי. מבצע "עמוד ענן"

הוא הזדמנות נאותה לבחון את טיעוני מאמר זה בדבר המגבלות והחסרונות של השימוש במערכת המבוססת על טילי הגנה בלבד, לעומת היתרונות של שילוב שתי הטכנולוגיות – טילי הגנה ולייזר רב עוצמה – במערכת הגנה כוללת. בבחינה זו נתייחס לשתי נקודות עיקריות: אי-היכולת של מערכות טילי ההגנה להגן על היישובים הסמוכים לגבול ומחירם של טילי ההגנה (שהופך למגבלה על כמות הטילים בהם ניתן להצטייד).

שתי ממשלות הכירו במגבלותיה של מערכת "כיפת ברזל" להגן על אתרים הקרובים לגבול. ממשלת אולמרט החליטה בתחילת 2008 (לאחר שהובהרו לה מגבלותיה של המערכת) למגן את כל הבתים המרוחקים עד 4.5 ק"מ מהגבול (איום הייחוס אז היה "קסאם" 1 האיטי). ממשלת נתניהו החליטה במחצית השנייה של 2012 למגן את כל הבתים עד מרחק של שבעה ק"מ מהגבול. השר להגנת העורף, מתן וילנאי, אף הצהיר בנובמבר 2011 כי כל היישובים עד מרחק של 15 ק"מ מהגבול ימוגנו באופן מלא.³⁴

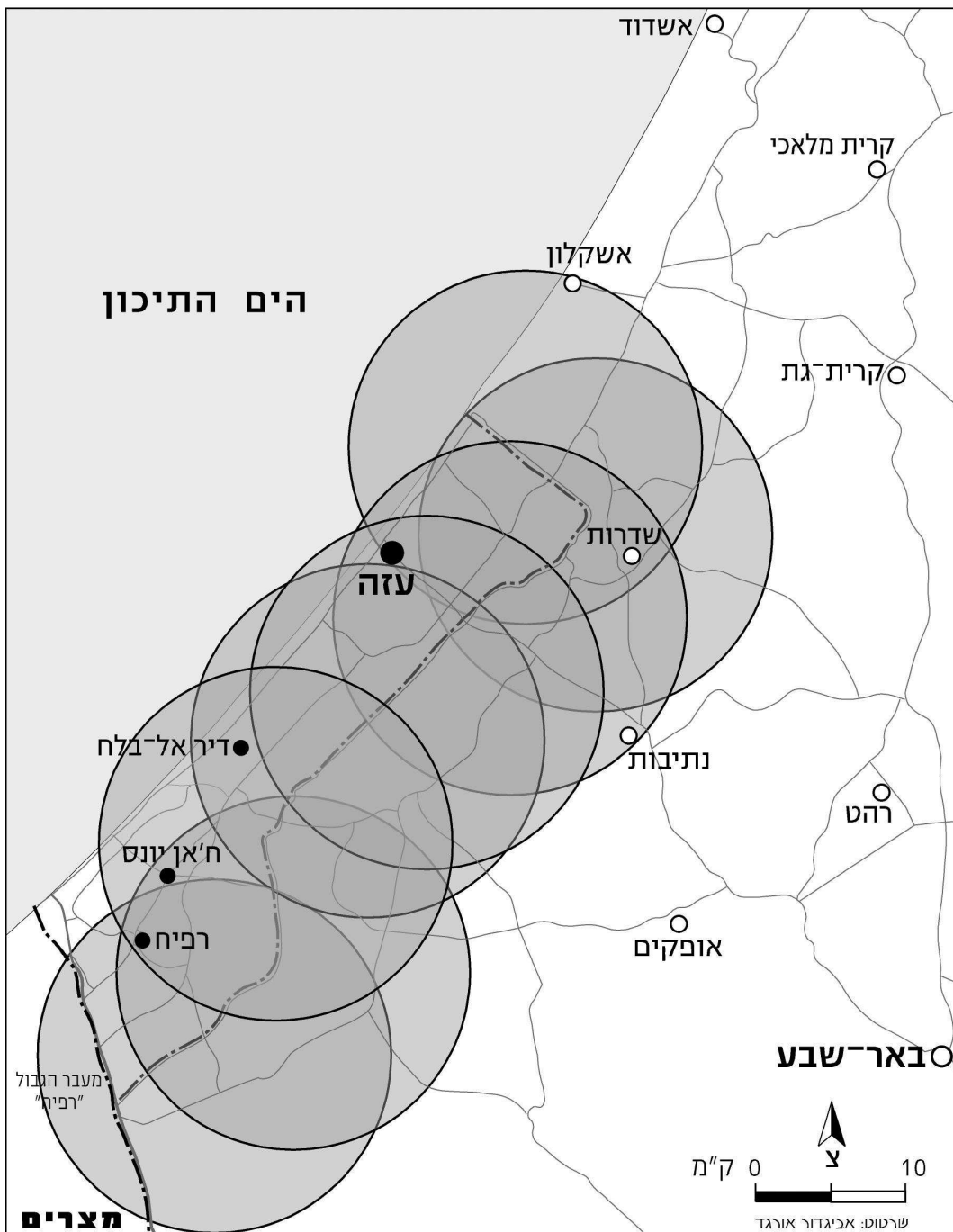
המציאות בעת מבצע "עמוד ענן" אכן הוכיחה את הצורך בהגדלת טווח המיגון: לא הייתה כל הגנה מעשית על העיר שדרות ויישובי "עוטף עזה" (למעט מקרים בודדים של יירוט רקטות באזור שדרות, ששוגרו ככל הנראה מחלקה הדרומי של רצועת עזה – טווח ירי מספיק גדול שאפשר יירוטן באמצעות מערכת "כיפת ברזל"). מערכת "כיפת ברזל" הגנה על יישובים המרוחקים מהגבול, כמו באר שבע, אשדוד ואשקלון, אך גם זו לא הייתה הגנה מלאה, כפי שנראה בהמשך.

מבצע "עמוד ענן" הסתיים לפני ששוגרו כל טילי "טמיר" (טילי היירוט של "כיפת ברזל") שהיו ברשות צה"ל. קל לדמיין את אשר היה קורה אם המבצע היה נמשך עוד מספר ימים, כשצה"ל היה מגיע ל"תחתית החבית" בכל הקשור למלאי של טילי ההגנה. אין ספק שלקראת מצב זה, ממשלת ישראל ופיקוד צה"ל היו נאלצים לעמוד בפני מערכת לחצים משמעותית לסיים את המבצע לפני כלות כל הטילים, דבר שהיה משפיע על כל תוצאה של משא ומתן הקשור בסיום הלחימה. לחילופין, אם הלחימה לא הייתה נפסקת במועד, קל לדמיין את גודל האכזבה של האוכלוסייה ואת המכה המורלית שהייתה סופגת, וזאת בנוסף לפגיעות הפיזיות. יתר על כן, לא ניתן להתעלם מדוח מס רכוש, המציג את רשימת הנזקים שנגרמו בעת מבצע "עמוד ענן" בערים עליהן הגנה מערכת "כיפת ברזל", המסתכמים במאות פגיעות במבנים ובמכוניות. בנוסף לכך, דוח של משטרת ישראל מציין כי חבלני המרחב הדרומי טיפלו ב-109 נפילות של רקטות בתוך שטחים מיושבים. המסקנה משני נתונים אלה היא שההגנה אותה סיפקה מערכת "כיפת ברזל" לא הייתה מספקת.

נבחן עתה את שילובן של מערכות "סקייגארד" בהגנה מפני "האיום העזתי". לרצועת עזה אין עומק אסטרטגי. רוחבה כמעט לכל אורכה הוא כשבעה ק"מ

ורק בחלקה הדרומי מגיע הרוחב עד כ־13 ק"מ. שרטוט מס' 1 מציג את הכיסוי המבצעי של שמונה מערכות "סקייגארד" שיוצבו סביב רצועת עזה במרחק של כק"מ אחד מהגבול (מאחורי קפלי קרקע, למניעת ירי בכינון ישיר אליהן). למעט אזור מצומצם אחד, כל נקודות השיגור מכוסות על ידי מערכות "סקייגארד".

שרטוט מס' 1: הכיסוי המבצעי של שמונה מערכות "סקייגארד" סביב רצועת עזה



אין צורך בתהליכי שיערוך למערכת "סקייגארד". הווקטור אל המטרה מתקבל תוך שנייה אחת עד שתי שניות מרגע שיגור האיום, והמטרה תושמד תוך שתיים עד שלוש שניות נוספות, לרוב בעודה מעל שטח הרצועה, ואין זה משנה לאן תשוגר – לשדרות או לתל אביב. עקב הטווחים הקצרים, הירי על יישובי "עוטף עזה" הוא רובו ככולו שטוח מסלול. הגובה המרבי שאליו מגיע האיום (למעט "קסאם" 1) הוא כ-550 מטרים ("גראד" משופר הנורה לטווח של 15 ק"מ). גובה זה הוא מתחת לבסיס הענן האופייני, המתחיל בכ-700 מטרים ומעלה. המסקנה היא שגם בתנאי מזג אוויר קשים, מערכות "סקייגארד" יגנו על יישובי "עוטף עזה". למעשה, מערכות הלייזר מקיפות את רצועת עזה במעין "חומת מגן" שתיירט כל איום שיִּירָה ממנה לכל מטרה בישראל. איום זה כולל גם את רקטות "פג'ר", להן טווח של כשבעים ק"מ.

ההשקעה הנדרשת בהצבת שמונה מערכות "סקייגארד" מול רצועת עזה היא כ-500 מיליון דולר, ותחילת האספקה תהיה תוך כשנתיים. השילוב עם מערכות "כיפת ברזל" יכול להיות מיטבי: מערכות "כיפת ברזל" תוצבנה במקומות המרוחקים יחסית מהגבול, עליהם ביכולתן להגן, בעוד שהיירוט הראשוני נגד כל האיומים יתבצע עם מערכות "סקייגארד", שלהן יש, כאמור, "מחסנית אין סופית". כל מה ש"יסתגן" (אם בכלל) דרך מערכות "סקייגארד" יישאר לטיפולן של מערכות "כיפת ברזל". זהו שילוב שיאפשר הגנה ללא כל לחץ, בעיקר על מקבלי החלטות. אז גם ינתן אורך נשימה לממשלת ישראל לשקול כל החלטה, בודעה שהעורף מוגן בצורה הטובה ביותר.

אי־הרלוונטיות של מערכות הגנה המבוססות על "לייזר מצב מוצק"

דחיית היישום של הלייזר הכימי ("נאוטילוס" ו"סקייגארד"), הזמין והמוכח, בציפייה ללייזר על בסיס מצב מוצק, ולכאורה מתקדם יותר, אינה מעוגנת בשום מציאות טכנית.³⁵ ללייזר מצב מוצק יש מספר מגבלות מהותיות: ראשית, מגבלת הספק. ההספק הגבוה ביותר שהושג בטכנולוגיה זו – כמאה קילוואט בלבד, שהושג על ידי חברת "נורתרוֹפ־גרומן" בפברואר 2009 באמצעות טכנולוגיית לוחיות – הינו כעשירית מהדרוש ליירוט טילים. הגעה להספק של מגוואט ומעלה תחייב פריצת דרך טכנולוגית, שאינה נראית בת־יישום; שנית, נצילות מערכת הלייזר על בסיס מצב מוצק גדולה אך במעט מעשרה אחוזים. לכן, ליצירת קרן בהספק הנדרש של מגוואט אחד לפחות, נדרש להשקיע כתשעה מגוואט הספק חשמלי, מתוכם כשמונה מגוואט יהפכו לחום, אותו יש לפזר בעת הלזירה – קרי שתיים עד שלוש שניות. אין בנמצא כל טכנולוגיית קירור המסוגלת לבצע זאת, ולכן אין סיכוי למימושה של המערכת בעתיד הנראה לעין; שלישית, למערכת כזו

יש רגישות יתר להשפעות מזג האוויר, הנובעות מאורך הגל הקצר שבו פועלים לייזרים אלה (כמיקרון אחד, לעומת 3.8 מיקרון של "נאוטילוס" ו"סקייגארד"). ניחות הקרן בעת המעבר באטמוספירה יהיה גדול מאד בהשוואה למערכות לייזר על בסיס כימי. בנוסף, קיימת סכנת עיוורון מאור מוחזר, הנובעת מאותו אורך גל. זאת ועוד, אין כל תחזית שתצביע על מועד להשלמת פיתוחה של מערכת כזאת, שתאפשר הגנה על ריכוזי אוכלוסייה ואתרים אסטרטגיים.

מכלול מגבלות זה מהווה מחסום טכנולוגי, המונע את יישומה של מערכת לייזר רבת עוצמה המבוססת על מצב מוצק.³⁶

סיכום

לנשק הבליסטי ולטילי השיוט המדויקים יש פוטנציאל הרס של התשתיות החיוניות למדינת ישראל, והם מהווים איום על חייהם של אלפים רבים. מערכת המבוססת על טילי הגנה בלבד אינה ישימה, עקב ההוצאה הכספית הכרוכה בהצטיידות ונוכח אי-עמידתה בחלק מהיעדים המבצעיים הנדרשים להגנה בסיסית. למרות זאת, יש להמשיך בפעילות הנוכחית של הקמת חמש שכבות הגנה המבוססות על טילי הגנה, וזאת כדי להביא לשילובן של טכנולוגיות אלו עם מערכות הלייזר רב העוצמה.

השקעה של כ-4.6 מיליארד דולר בשמונים מערכות קרקעיות ובחמש מערכות מוטסות של "סקייגארד", שתמשך כשמונה שנים, תביא להקמת מערכת משולבת עם כל מרכיביה של מערכת טילי ההגנה. מערכת משולבת כזו תעמוד בכל הדרישות מ"מערכת אידיאלית": היא תגן מפני כל איום, בכל עת, בכל מזג אוויר ולמשך כל זמן שיידרש – והכל בעלות מזערית ותוך חיסכון משמעותי.

על ממשלת ישראל "לשוב אל שולחן השרטוט", להכיר ביתרונותיה של המערכת המשולבת ולפעול בהתאם – בעיקר מול שלטונות ארצות הברית – בכל הקשור להתנעה מחודשת של הפעילות במערכות "סקייגארד", שאם לא כן, עלולה מדינת ישראל להיאלץ להתמודד עם משבר חמור בעימותים העתידיים לבוא.

הערות

- 1 עמוס הראל, "צ'יקו תמיר חושב שתוכנית גנץ עלולה להוביל לאסון", **הארץ**, 18 ביולי 2013.
- 2 עמיר רפפורט, "גולנצ'יק", **מעריב**, 28 בינואר 2004.
- 3 זאב קליין וחזי שטרנליכט, "מתן וילנאי: נותקף באלף טילים ליום", **ישראל היום**, 3 ביוני 2011, http://www.israelhayom.co.il/site/newsletter_article.php?id=11489.
- 4 משרד מבקר המדינה, **דו"ח שנתי 59א לשנת 2008**, מארס 2009, עמ' 13-20.
- 5 יהודה וגמן, "מדוע צה"ל מתקשה להצליח?", **מערכות**, 419, יוני 2008, עמ' 11.
- 6 גבריאל סיבוני, "מהאנתפאדה השנייה דרך מלחמת לבנון השנייה למבצע 'עופרת יצוקה'", **צבא ואסטרטגיה**, כרך 1, גיליון 1, אפריל 2009.
- 7 גיורא איילנד, "מבצע 'עמוד ענן' – היבטים אסטרטגיים", בתוך: שלמה ברום (עורך),

- לאחר מבצע "עמוד ענן" (רצועת עזה, נובמבר 2012), מזכר 123, המכון למחקרי ביטחון לאומי, תל אביב, 2012, עמ' 12.
- 8 רן דגוני, "סגן הרמטכ"ל בני גנץ: 'במלחמת לבנון השלישית ננצח; כשנוציא את הסוסים מהאורווה, יכאב מאוד ללבנון'", **גלובס**, 2 ביוני 2010, <http://www.globes.co.il/news/article.aspx?did=1000563836>.
- 9 גדי איזנקוט, "השתנות האיום? המענה בזירה הצפונית", **צבא ואסטרטגיה**, כרך 2, גיליון 1, יוני 2010, עמ' 20.
- 10 עפר שלח ויואב לימור, **שבויים בלבנון**, ידיעות ספרים, תל אביב, 2007, עמ' 221.
- 11 זאב קליין וחזי שטרנליכט, "מתן וילנאי: 'נותקף באלף טילים ליום'".
- 12 גדי איזנקוט, "השתנות האיום? המענה בזירה הצפונית".
- 13 עמוס הראל, "האלוף גנץ: 'אני מרוצה מיכולת ישראל כלפי איראן; אנחנו נמצאים במקום טוב – ונהיה במקום טוב יותר'", **הארץ**, 31 בדצמבר 2010, <http://www.haaretz.co.il/news/politics/1.1238152>.
- 14 המתאר גובש באמצעות הסתמכות על כלל הירי נגד ישראל במלחמת לבנון השנייה ובמבצע "עופרת יצוקה".
- 15 מכתב עמותת "מגן לעורף" לשר הביטחון: "ביצועים צפויים של כיפת ברזל", 15 בדצמבר 2009.
- 16 יפתח שפיר, "כיפת ברזל" – מלכת המערכה, בתוך: שלמה ברום (עורך), **לאחר מבצע "עמוד ענן"**, עמ' 36.
- 17 גדי איזנקוט, "מאפייניו של עימות אפשרי בזירה הצפונית ובעורף", הרצאה בסמינר לזכר חללי מלחמת לבנון השנייה, אוניברסיטת חיפה, 30 בנובמבר 2010, <http://www.youtube.com/watch?v=l0xkjirjvCI>
- 18 עוזי רובין, "מערכת ההגנה האקטיבית 'כיפת ברזל' בפעולה: הערכה ראשונית", *Perspectives* 151, מרכז בגין-סאדאת, אוניברסיטת בר אילן, 31 באוקטובר 2011.
- 19 נועם ברקן, "מושלים בכיפה", **ידיעות אחרונות**, 11 באפריל 2011.
- 20 יובל אזולאי, "מחיר הדמים: כמה רקטות נדרשות כדי להרוג ישראלי אחד?", **גלובס**, 27 באפריל 2012.
- 21 יצחק בן ישראל, ראיון ליועז הנדל, **מקור ראשון**, 29 בדצמבר 2006.
- 22 מצגת חברת "נורת'רופ-גרומן" למשרד הביטחון, ינואר 2007.
- 23 מטעמי יתירות, הכוונה להציב שתי מערכות "סקייגארד" להגנת כל אתר. דבר זה יביא, בין השאר, להכפלת כמות האיומים שייורטו. אם קצב הגעת האיומים יהיה קטן מ-1.5 שניות בממוצע, כל האיומים יושמדו. ראו טבלת סיכום יכולות ועלויות במאמר זה.
- 24 Dr. Josef Shwartz, Northrop-Grumman, *Year 2008 Multinational BMD Conference*, Honolulu, September 2008.
- 25 יצחק בן ישראל, ראיון ליועז הנדל, **מקור ראשון**, 29 בדצמבר 2006.
- 26 "ABL's Successful Shootdown", *DT Defensetech*, February 12, 2010, <http://defensetech.org/2010/02/12/abls-successful-shootdown/>
- 27 Subrata Ghoshroy, "Coming not so soon to a theater near you: Laser weapons for missile defense", *Bulletin of the Atomic Scientists*, November 1, 2011, p. 35.
- 28 ראו טבלת ביצועים ועלויות מול האיומים השונים בהמשך המאמר.
- 29 יואב זיתון, "לפיד מקצץ בביטחון: חשש שמיגון טנקים ייפגע", **ynet**, 28 במארס 2013, <http://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-4361962,00.html>
- 30 עמוס ידליו, "סיכום", בתוך: שלמה ברום (עורך), **לאחר מבצע "עמוד ענן"**, עמ' 77.
- 31 בנג'מין ס' למבת', "מלחמת לבנון השנייה – הערכה מחודשת", **צבא ואסטרטגיה**, כרך 4,

- גיליון 3, דצמבר 2012, עמ' 51.
- 32 אמיר בוחבוט וניר יהב, "גנץ: 'להמשיך ולתקוף בכל הכוח, להגביר את הקצב'", וואלה!,
17 בנובמבר 2012, <http://news.walla.co.il/?w=/551/2587039>
- 33 יפתח שפיר, "כיפת ברזל" – מלכת המערכה", בתוך: שלמה ברום (עורך), **לאחר מבצע
"עמוד ענן"**, עמ' 35.
- 34 זאב קליין וחזי שטרנליכט, "מתן וילנאי: 'נותקף באלף טילים ליום'".
- 35 מסמך עמותת "מגן לעורף": "מערכת הסקייגארד – האמצעי היחיד להגנת יישובי עוטף
עזה מרקטות ופצצות מרגמה", 16 באוקטובר 2012.
- 36 D. L. Carroll, "Overview of High Energy Lasers: Past, Present and Future", 2011, 36
AIAA, 2011-3101.