

הגנה פעילה נגד טילים בליסטיים – כיצד?

ראובן פדהצור

אחד מתחומי הביקורת הבולטים על חסרונותיהן של מערכות הגנה אקטיביות עוסק ביעילותן של מערכות אלה מול טילים נושאי ראשים לא-קונוונציונליים. היכולת של מערכת הגנה אקטיבית להתמודד עם ראשים כימיים וביולוגיים הינה מוגבלת. יירוט טיל תוקף בשלב המעוף הסופי שלו גורם לכך שגם במקרה של יירוט מוצלח קיימת סכנה של פיזור החומרים הלא-קונוונציונליים מעל שטחו של המגן.

גם במקרים שבהם יתבצע היירוט במרחק 100-70 ק"מ ממקום הצבתה של מערכת ההגנה (מרחקי היירוט המרביים של מערכת דוגמת ה"חץ"), עדיין קיים סיכוי סביר שחלקיקי החומר הכימי, או הנבגים הביולוגיים, שמשקלם נמוך מאוד, יגיעו באמצעות הרוח אל שטחו של המגן.¹

ראש-נפץ הכולל פצצונות מצרר, בערך בגודלו של ראש-נפץ של "סקאד", יכול להכיל 150 עד 300 מכלים קטנים הממולאים בחומר כימי או ביולוגי. ניתן לשחרר את הפצצונות מעל לטווח היירוט המרבי של ה"חץ" (או של ה-THAAD). גם אם הפצצונות יתפזרו על פני שטח נרחב מאוד, כל אחת מהן עלולה ליצור שטח הריגה משמעותי סביב נקודת הפגיעה שלה.²

גם אם מערכת ההגנה תצליח לפגוע בראש-נפץ המכיל פצצונות מצרר כימיות עוד לפני שהן התפזרו, אין לדעת בוודאות כמה מן המטען המועיל יושמד. לפני שניתן יהיה להגיע למסקנות בדבר יכולתו של מערך ההגנה, יש להבין היטב את תהליך היירוט נגד ראש-נפץ כימי מסוג זה.³

אם אכן יתבצע בעתיד יירוט של ראש-נפץ מצרר, ברור כי בחירת הגובה שבו יתבצע היירוט לא תשפיע כמעט על סיכויי ההצלחה.

טילים חמושים בראש-נפץ כימיים מהווים איום על כוחות צבא לא פחות מאשר על אוכלוסייה אזרחית. הדבר נכון שבעתים במקרה של ישראל אם הטילים יונחתו במהלומת פתיחה, ועוד יותר מכך – במתקפת פתע. מתקנים צבאיים עלולים להיפגע או לצאת מכלל שימוש

עיה נוספת העלולה להתעורר בעת יירוט של טיל חמוש בראש כימי על-ידי מערכת הגנה פעילה, התוקפת את הטיל בשלב כניסתו בחזרה לאטמוספירה (השלב הסופי במעוף), היא שהטיל המיירט עלול לפגוע בראש-הנפץ אך לא להשמיד אותו. התוצאה עלולה להיות ראש-נפץ פגוע, שרק צורת הפיזור החומר הקטלני שבו בעת פגיעתו בקרקע תהיה שונה.

שימוש מצרר לסוגיו מציב בפני המגן אתגר מסוג שונה. אפשר להגדיל את מספר המטרות עבור טיל לטווחים קצרים יותר, שיהיה חמוש בראש-נפץ קונוונציונלי, כימי או ביולוגי, על-ידי חימושו בראש-נפץ המכיל כמות גדולה של תתי-חימוש. התוקף ישתדל לשחרר את הפצצונות (תתי-

¹ ד"ר ראובן פדהצור מתמחה בנושאי הביטחון הלאומי. תחום המחקר שבו הוא עוסק הנו הגנה נגד טילים בליסטיים. ר"פ פרסם גם בחוברות קודמות של נתיב.

¹ Theodore A. Postol, "The Prospects for Successful Air-Defense Against Chemically-Armed Tactical Ballistic Missile Attacks on Urban Areas," *Defense and Arms Control Studies Program* (MIT, March 1991), p. 1.

² George N. Lewis and Theodore A. Postol, "Future Challenges to Ballistic Missile Defense", *IEEE Spectrum*, vol. 34, no. 9, September 1997, pp. 60-68.

³ Reuven Pedatzur, "Evolving Ballistic Missile Capabilities and Theater Missile Defense: The Israeli Predicament", *Security Studies*, vol. 3, no. 3, Spring 1994, pp. 521-570.

⁴ לחששויהם של בכירים בישראל מפני ראש-נפץ מצרר, ראה: Barbara Opall, "U.S., Israeli Officials to Revive Interceptor," *Defense News*, 22-28 February, p. 3.

ביולוגיים דומות לבעיות היירוט של ראשי-נפץ כימיים, אך אינן זהות להן. מומחים רבים סבורים, למשל, שמדינה שתחליט להתחמש בנשק ביולוגי תעדיף את נבגי הגחלת. קל להרבות אותם, אורך חי המדף שלהם גדול, הם עמידים בפני שינויי טמפרטורות קיצוניים ובפני חשיפה לחמצן ולקרניים אולטרא-סגוליות אחרי היירוט, והם יחוללו מחלה קטלנית בתוך יום עד ארבעה ימים. הם מצריכים אמנם כמות גדולה יותר בהשוואה לחיידקים מחוללי מחלות מסוגים אחרים, אבל בהשוואה של קילוגרם מול קילוגרם, הם תכליתיים פי 100 אלף לעומת גז העצבים השכיח סארין (GB).

נבגי הגחלת, כמו רוב החומרים הביולוגיים, יפוזרו בצורת אבקה ולא נוזל. אחת הבעיות הרציניות העומדות בפני התוקף היא כיצד לפזר את האבקה בשטח גדול דיו, כדי שההשפעה תהיה הרבה ביותר. דומה שאפילו יירוט בגובה בינוני יסייע לתוקף להשיג את מטרתו. יירוט של טיל חמוש בראשי-נפץ ביולוגי, צריך להתבצע, ככל הנראה, בגובה גדול ככל האפשר. אבל גם כאשר היירוט יתבצע במרחק של קילומטרים רבים, עדיין קיימת אפשרות שהנבגים יינשאו עם שברי הטיל או הרוח ויתפזרו על שטח ידידותי, במרחק רב מאזור הלחימה, או ניטרלי. אולם במקרה כזה החומר ידולל במידה רבה, וינטרל חלק ניכר מתכליתיותם של הנבגים.⁸

האיום הגרעיני

מול האיום של טילים גרעיניים, הופכים חסרונותיהן של מערכות הגנה פעילות לקריטיים, עד כדי הפיכתן לבלתי רלוונטיות. קיימת ספרות רחבה ומקיפה הדנה בסוגיית השימוש בהגנה פעילה מול טילים בליסטיים גרעיניים. רובה ככולה עוסקת בהקשר הבין-מעצמתי, ומקורותיה האסטרטגיים נובעים מהתפתחות החשיבה הגרעינית, כפי שבאה לידי ביטוי בארצות-הברית ובברית-המועצות.⁹

אולם מניסיון של שתי המעצמות ניתן להסיק ולהשליך גם על העתיד להתרחש במזרח התיכון בתחום זה. עיקרי החשיבה האסטרטגית שהובילה את שתי המעצמות להכרה בתרומתן השלילית של מערכות הגנה נגד טילים בליסטיים גרעיניים ליציבות ההרתעה, והחלטתן להגיע להסכמה על הפסקת פעולות פיתוח מערכות הגנה פעילות, כפי שבאה לידי ביטוי בחתימתן המשותפת על אמנת ABM, נכונים במידה רבה גם למצב העתיד לשרור במזרח התיכון.¹⁰

אם יתממשו הערכות אגף המודיעין של צה"ל, ובידי אחת ממדינות האזור יהיה בעשור הקרוב נשק גרעיני (סמוך למועד השלמת פיתוחה של מערכת ה"חיי"), הרי המשך פיתוחה של מערכת ההגנה הופך למיותר מן ההיבט האסטרטגי. יהיה זה כשל אסטרטגי גורלי לנסות ולהגן על ישראל מפני טילים גרעיניים באמצעות מערכת הגנה פעילה. הרי מחיר פגיעתו של טיל גרעיני בגוש דן, למשל, הוא בלתי נסבל במונחים ישראליים. לפיכך, הגנה פעילה רלוונטית מול טילים גרעיניים יכולה להיות רק זו המספקת הגנה וסגירה הרמטיות. מערכת ה"חיי", כמו כל מערכת מסוגה,

למשך שעות רבות אחרי מהלומת טיל כימי, גם אם החיילים במקום יהיו מוגנים נגד חומרים כימיים. מציאותו של חומר כימי בשטח תשפיע במידה רבה על יעילות הפעילות. אם יירו טילים כאלה על מטרות ישראליות במהלומת פתיחה של מלחמה שייזמו הערבים, יש להניח שהם יכוונו לעבר מתקנים שהוצאתם מכלל פעולה תשבש את יכולתו של צה"ל להתארגן לקראת השלבים הראשונים של המלחמה.⁵

האיום הביולוגי

ש מקום לדאגה שגם מדינות נוספות במזרח התיכון, לבד מעירק, יפתחו בסופו של דבר יכולת לחימה ביולוגית, ושיכולת זו תעמוד לרשותן בתוך העשור הקרוב, בדמות ראשי-נפץ של טילים בליסטיים. טילים חמושים בראשי-נפץ מסוג זה יהיו מטרות בעייתיות מאוד מבחינת מערכי ההגנה הפעילה. גם אם הטיל התוקף ייורט, יש לצפות שהחיידקים נושאי המחלות יפלו על הקרקע אחרי הפגיעה בטייל.

החיידק המתאים ביותר לשימוש בראשי-נפץ של טיל בליסטי הוא ה-Bacillus Anthracis, החיידק המחולל את מחלת הגחלת (אנתרקס). הסיבה לכך היא שהחיידק מפתח נבגים בעלי כושר עמידות גבוה בתנאים קשים, גם כשהם חשופים לשמש, לאוויר או לגשם. רוב הלחמה הביולוגית מבוססת על חיידק זה, שהוא קטלני גם בריכוז נמוך פי אלף מריכוז של גז עצבים.

גם הכמות הזעירה ביותר – 0.1 מיליגרם x דקה אחת למטר רבוע – שלא תטופל, עלול לגרום למותו של כל אדם שיבוא עמה במגע בתוך ימים ספורים.

קיים אמנם חיסון נגד גחלת, אבל יש להתחסן נגד המחלה לפני החשיפה לנשק הכימי, ועדיין לא ברור מה יעילות החיסון מול מינון גבוה של חיידקים. למרות אי-ודאות זו החליט שר-ההגנה האמריקני, ויליאם כהן, להורות על חיסונם של כל חיילי הצבא האמריקאי נגד חיידקי גחלת.⁶

כן קיים טיפול אנטיביוטי, אבל יש להתחיל בו במהירות רבה, עוד לפני הופעת תסמיני המחלה. כאשר משווים קילוגרם מול קילוגרם, מסתבר שהריכוז הקטלני של הגחלת מכסה שטח גדול פי אלף מזה של גז העצבים סארין. אפשר ללמוד על קטלניות הנשק הביולוגי מתוך הדוגמה הבאה: טיל חמוש ב-100 ק"ג של חיידקי גחלת יגרום לקטל בשטח שגודלו מ-20 עד 260 קמ"ר, תלוי בתנאי מזג-האוויר. גם אם יינקטו אמצעי הגנה אזרחית, השטח הקטלני יהיה עדיין בין שניים ל-20 קמ"ר. ישנם סוגים של חומרים ביולוגיים העלולים להחזיק מעמד בקרקע במשך עשרות שנים, בניגוד לחומרים כימיים. חומר כימי נשאר מסוכן במשך מספר שבועות אחרי פיזורו, אבל חיידקי גחלת עלולים להחזיק מעמד שנים, והם יישארו קטלניים זמן רב גם אחרי שהמטרה הצבאית המקורית שלהם נעלמה.⁷

המועצה המדעית לענייני ביטחון שדנה בבעיות הכרוכות ביירוט טילים בליסטיים, הגיעה למסקנה הבאה:

יש לומר מספר דברים בקשר לחומרים ביולוגיים. בעיות היירוט של ראשי-נפץ החמושים בחומרים

⁵ אנג'לו מ' קודווייה, "י"ר לים, ביטחון וישראל", המכון ללימודים אסטרטגיים ופוליטיים מתקדם מים בירושלים, מחקר אסטרטגי מס' 5, נובמבר 1997, עמ' 20.

⁶ ראובן פדחור, "הממשל מצמצם ראשוני", הארץ, 19 בדצמבר 1997, עמ' 1; Paul Mann, "Iraq's Stratagem: Conceal and Comply", Aviation Week & Space Technology, November 24, 1997, pp. 24-25.

⁷ ניתוח האפקטים של נשק ביולוגי מבוסס על מאמרו של Steve Fetter, "Ballistic Missiles and Weapons of Mass Destruction: What Is the Threat? What Should Be Done?", International Security 16, no. 1 (Summer 1991), pp. 5-42.

⁸ Defense Science Board, 1991 Summer Study on Ballistic Missile Defense, Washington, D.C., Department of Defense, 1991, pp. C-14-C-15.

⁹ A. Carter and D. Schwartz, Ballistic Missile Defense, Washington D.C., Brookings Institution, 1984; E. York, Strategic Defense from World War II to the Present, Paper presented to the conference "SDI and Nato", University of California, San Diego, May 4-6, 1986; E.P. Thompson (ed.), Star Wars: Science-Fiction or Serious Probability? (New York, Pantheon, 1986); Stephen Meyer, "Soviet Views on SDI", Survival, November-December 1985, pp. 274-292; John Tirman, E.P. Meyer - The Growing Case Against Star Wars (Boston, Beacon Press, 1986); Office of Technology Assessment, Strategic Defense, Princeton NJ, Princeton University Press, 1986.

¹⁰ William A. Davis, Regional Security and Anti-Tactical Ballistic Missile: Political and Technical Issues (Washington D.C., Pergamon-Brassey's, 1986), p. 16; T. Quinlivan, G.L. Donohue, and E.R. Harshberger, Strategic Defense Issues for the 1990s, The Rand Corporation, R-3877-RC, April 1990, pp. 9-11, 24-30.

רחוקה מאוד מלספק סגירה הרמטית מול ניסיונות החדירה של טילים תוקפים.

יתר על כן, פריסה של מערכת הגנה דוגמת ה"חץ" עלולה להתפרש כאיתות שהמדינה המצטיידת בה מנסה להתמודד מול תקיפה גרעינית. כלומר, שהיא מוכנה להשלים עם האפשרות שהאויב ישגר טילים גרעיניים לעברה, ותעשה מאמצים ליירטם. זו, כמובן, חשיבה אסטרטגית מוטעית ומסוכנת. הדרך היחידה למנוע שיגור טילים גרעיניים בעידן הגרעיני היא ההרתעה, כפי שלמדו קובעי המדיניות בארצות-הברית ובברית-המועצות כבר בשנות החמישים.

ספק אם קובעי המדיניות בישראל יהיו מוכנים ליטול את הסיכון של כישלון מערכת ההגנה ופגיעת טיל גרעיני בגוש דן. הרי מציאותם של טילים גרעיניים בידי האויב תחייב להתייחס לכל טיל המשוגר לעבר ישראל כאילו הוא טיל גרעיני. בהכרח תגובש מדיניות הרתעה ישראלית חדשה מול איום גרעיני, לכשימומש, שבמסגרתה תהפוך מערכת ה"חץ" לחסרת משמעות. מה שלמדו בווינגטון ובמוסקווה בהקשר זה לפני ארבעים שנה יהיה נכון באותה המידה גם במזרח תיכון גרעיני.

יש לציין כי גם בתוך מערכת הביטחון הישראלית, ובקרב האחראים על תכנית ה"חץ", רווחת ההכרה כי ה"חץ" לא יהיה יעיל, וודאי לא יוכל לשמש כמרכיב בחשיבה האסטרטגית ההגנתית של ישראל מול איום של טילים גרעיניים. בהרצאה פומבית הבהיר עוזי רובין, העומד בראש מנהלת "חומה" (המנהלת שהוקמה במשרד-הביטחון במטרה לרכז את כל נושא ההגנה נגד טילים ולפקח על תכניות הפיתוח השונות, ובהן גם ה"חץ"), כי "אין מענה מול איום של טילים נושאי ראש קרבי גרעיני".¹¹

אולם החשש הוא, שקובעי מדיניות שאינם בקיאים בביצועיו העתידיים של ה"חץ" ולחוסר ההיגיון האסטרטגי בביסוס הגנה מול איום גרעיני על מערכת שאינה מעניקה מסך הגנה הרמטי, נחשפים להבטחותיהם בתחום זה של מפתחי מערכת ההגנה הפעילה. הסכנה היא, שהמדיניות תגובש על סמך הבטחות אלה, שספק רב מאוד אם ניתן לעמוד בהן.

כך למשל, הבטיח דב רביב, איש התעשייה האווירית, שעמד מאחורי התפיסה של פיתוח ה"חץ", כי "הסבירות שטיל אויב יצליח לחדור תהיה אחד לאלף".¹² כלומר, רביב מבטיח אחוזי זליגה (leakage rate) כמעט אפסי – 0.1 אחוזים. ספק אם ניתן לפתח מערכת הגנה נגד טילים שתהיה כה יעילה, נוכח המכשולים הטכנולוגיים הגבוהים כל-כך הניצבים בפני מתכנני המערכת ומפתחיה. בהמשך להבטחותיו קובע רביב, כי "מערכת ה"חץ" פותרת את בעיית האיום הגרעיני כפי שהוא צפוי בעשרים השנים הבאות".¹³

במסגרת הדרשה המבצעית למערכת הגנה נגד טילים בליסטיים, כפי שהגדיר חיל-האוויר הישראלי, הוא הצביע על אחוזי זליגה של עשרות אחוזים, מתוך הכרה שאלה הם האחוזים הריאליים שאפשר יהיה אולי להשיגם, אם פיתוח ה"חץ" יעלה יפה. במקרה כזה עולה כמובן במלוא חריפותה שאלת הרלוונטיות של מערכת הגנה פעילה מול איום טילים גרעיניים.

מובן מאליו שלדיון האסטרטגי בסוגיית השימוש במערכת הגנה פעילה מול איום גרעיני יש להוסיף גם את

בחינת היכולת המבצעית של ה"חץ" ליירט טילים גרעיניים. הכוונה היא לניתוח מדוקדק של סוגיית יירוט ראשי-נפץ גרעיניים, המתחייב מעבר לציון אחוזי הזליגה הצפויים של המערכת.

הבעיה הראשונה הקשורה ביירוט טילים גרעיניים היא סוגיית נקודת היירוט. מקובל להניח שיירוטו של טיל גרעיני בגובה הנמוך מ-10 ק"מ יגרום לנזקים רבים על הקרקע, בדומה לפגיעת הרשיק הגרעיני עצמו.¹⁴ כלומר, יירוט בגובה נמוך יותר לא ישיג את התוצאה הדרושה, וכמוהו ככישלון המערכת להגן בפני טילים גרעיניים.

נוסף על כך, קיימת גם בעיה ביירוט טילים גרעיניים בגובה רב, בגלל תופעת ה-EMP (Electro-Magnetic Pulse) – אחד האפקטים של פיצוץ גרעיני. פיצוץ גרעיני בגובה של יותר מ-40 ק"מ גורם לשיתוקן של כל מערכות התקשורת והמערכות האלקטרוניות על פני הקרקע.¹⁵ בתנאי מלחמה לא ניתן יהיה, כמובן, לנהל את הקרבות כאשר כל המערכות האלה משותקות.

שתי מגבלות אלה יעמידו את מערכת ההגנה בפני אילוץ מבצעי לא פשוט. יהיה צורך לתכנן את מערכת ההגנה הפעילה כך שתבצע יירוטים רק ברצועת הגובה שבין 10 ל-40 ק"מ, ולכן לא ניתן יהיה לנצל את כל הפוטנציאל המבצעי של מערכת ההגנה.

זאת ועוד, תוקף שיש ברשותו ראשי-נפץ גרעיניים מעטים עלול להעדיף להכריע את מערכי ההגנה על-ידי פריסת מטרות דמה רבות. יצירת מטרות דמה מציאותיות רבות מול מערכי הגנת נ"מ הפועלים בגבהים נמוכים יחסית, שבה התנגדות האוויר גבוהה, עלולה להיות משימה תובענית ומורכבת. אפשר להשיג אותה, כנראה, על-ידי פיזור מל"טים ואמצעי-נגד אלקטרוניים מתוחכמים ויקרים. לעומת זאת, בחלל הריק כמעט שבו פועלת הגנת נ"מ בגבהים גדולים, עצמים קלים וכבדים נעים במסלולים זהים כמעט, ולכן אפשר לפזר בו מטרות דמה קלות בקלות יחסית, ובעלות נמוכה למדי.¹⁶

אמצעי-נגד ודמיים

הגנה עלולה להיכשל מול טילים בליסטיים במהלך מלחמה משתי סיבות. ראשית, המגן אינו יכול לצפות בדיוקנות את כל האפשרויות של אמצעי-נגד, וכן אינו יכול לצפות במדויק את התנאים שישירו בשדה-הקרב בשעה שמערכת ההגנה תעמוד במבחן מבצעי.

שנית, חלק מאמצעי-הנגד או המצבים בשדה-הקרב (battlefield situations) יהיו פשוט מעבר ליכולת ההתמודדות של מערכת ההגנה, גם אם המגן ידע מראש שתנאים אלה ואמצעי-נגד אלה קיימים.¹⁷ הניסיון שנרכש במלחמת המפרץ מלמד עד כמה רגישה מערכת הגנה נגד טילים בליסטיים לשינוי באיום. שינוי מסוים באיום, שלא תוכננה מולו מראש תשובה מבצעית, עלול לגרום לקריסת המערכת כולה, כפי שקרה למערכת ה"פטריוט" במלחמת המפרץ.

מערכת ה"פטריוט" הוצבה מול איום הטילים העירקיים כאשר לזכותה הישגים מרשימים בשדה הניסויים. בסדרת הניסויים שעברה מערכת ה"פטריוט" היו ביצועיה מרשימים למדי, והיא השיגה שיא ביירוט

¹¹ עוזי רובין, "הגנה בפני טילים בליסטיים, מגרמות ובעיות", הרצאה ביום עיון, מרכז ב"סא, אוניברסיטת בר-אילן, מאי 1995.

¹² יוסי ולטר, "האם ילך אבי ה"חץ" לכלא" (ריאיון עם דב רביב), מעריב, 8 בדצמבר 1995.

¹³ דב רביב, "המטרה 99.9 אחוזי פגיעה", ידיעות אחרונות, 19 באפריל 1996, עמ' 21.

¹⁴ לדיון מפורט בסוגיה זו ראה: Samuel Glasstone and Philip J. Dolan, The Effects of Nuclear Weapons, Washington D.C., Department of Defense and Department of Energy, 1997, 3rd Edition.

¹⁵ שם, פרק XI.

¹⁶ לואיס ופוסטול, שם, עמ' 60-68.

¹⁷ שם.

BPI (יירוט בשלב ההאצה) כחלופה

אחד הפתרונות האפשריים, המבטל חלק ניכר מחסרונותיהן של מערכות ההגנה הפעילות דוגמת ה"יח"ץ" וה-THAAD, הוא ה-BPI (Boost Phase Interception - "יירוט בשלב ההאצה"). יתרונותיה של מערכת הגנה שתאירט טיל תוקף בשלב זה בולטים מאוד.

זהו השלב בו הטיל התוקף מהווה מטרה גדולה ואיטית מאוד, חסרת כושר תמרון ובעלת חתימת חום עצומה, ולכן הוא מהווה מטרה נוחה לאיתור, לעקיבה, לנעילה ולהשמדה. נתונים ותכונות אלה של הטיל התוקף מאפשרים שימוש בטכנולוגיה מתקדמת פחות מזו שצריך עדיין לפתח על מנת לפתור את הבעיות המבצעיות המתעוררות ביירוט בשלב החזירה הסופי. ניתן לפתח מערכת BPI בהתבסס על טכנולוגיות המצויות כבר היום, שישופרו בהתאם לדרישות המיוחדות של המערכת.

לפיתוח מערכת BPI ישנן שלוש גישות עיקריות:

גישה ראשונה מבוססת על מזל"טים. הטכנולוגיות של מזל"טים מפותחות למדי, וכבר עתה נמצאים בשוק מזל"טים שמשוגלים לשמש פלטפורמה נאותה למערכת BPI. פיתוח נוסף, ולא יקר מאוד, יכול לספק פלטפורמה יעילה מאוד, בעלת כושר שהייה גדול, תקרת שיט גבוהה, ואפילו מבוססת על טכנולוגיית חמיקה.

טכנולוגיות קיימות של טילי אוויר-אוויר עשויות לספק את הבסיס לפיתוח הטיל המיירט שבו יצויד המזל"ט. גם מערכות שליטה ובקרה לצורך הפעלת מערך מזל"טים באזור השיגורים קיימות כבר היום, ואין צורך להשקיע משאבים רבים בפיתוח טכנולוגיות חדשות בתחום זה.

גישה שנייה לנושא BPI מנצלת פלטפורמות קיימות של מטוסי-קרב. התפיסה המבצעית המשותפת לחיל-האוויר ולצי האמריקניים (CONOPS) הראתה שמערכת אנרגיה קינטית (KE), המנצלת טכנולוגיות טילים וכלי-קטל קיימות היא מערכת אפשרית מבחינה מבצעית וטכנית. הרעיון הוא לנצל טיל טקטי במהירות גבוהה עם כלי קטל באנרגיה קינטית, הנישאים על פלטפורמה "נושמת", כמו למשל מטוסי-קרב F-14 או F-15. הטיל העתידי יהיה מסוגל להגיע למהירות שתעלה על 5.5 ק"מ לשנייה ולטווח של 250 ק"מ. חיישנים על גוף המטוס ומחוץ לו יאכנו, יעקבו ויספקו עדכוני נתונים תוך כדי הטיסה. אלא שבגלל מסקנתה של המועצה המדעית לענייני ביטחון ההתפיסה של BPI באנרגיה קינטית אינה ניתנת לביצוע בגלל מגבלות תקציב, למרות שהיא תיתכן מבחינה טכנית, לא עברה תכנית זו לשלב ב'.

גישה שלישית היא פיתוח "לייזר מוטס" (ABL - Airborne Laser). הכוונה למערכת לייזר מוטסת באנרגיה גבוהה, חסכונית וגמישה, המסוגלת לאכן טילים בליסטיים זירתיים בשלב ההאצה, לעקוב אחריהם ולהשמידם.

מאחר שאפשר, כאמור, ליישם את רעיון התת-חימוש בטילים לטווח קצר באמצעים טכנולוגיים פשוטים, נראה כי יירוט טילים תוקפים בשלב ההאצה הוא אחד הפתרונות המבצעיים האפשריים להתמודדות עם בעיה זו.²¹ יירוט טיל תוקף בשלב ההאצה יכול להתבצע גם לפני שהטיל משחרר את אמצעי-הנגד שלו.

יתרון חשוב נוסף של מערכות BPI טמון בערכן ההרדעתי. כשהתוקף יודע שקיים סיכוי שחלק

טילים בליסטיים: 17 יירוטים מוצלחים ב-17 ניסיונות. אולם כאשר מערכת זו ניצבה בפני איום לא מתוכנן (התפרקות טילי האל-חוסין, תנועות הגלגול הלא-מבוקרות של ראשי-הנפץ של הטילים, ומהירות חזירה גבוהה יותר של טילי האל-חוסין לעומת המהירות שעבורה תוכנן ה"פטריוט"), היא נכשלה כישלון חרוץ, ולא הצליחה ליירט אפילו טיל עירקי אחד ויחיד. וכל זה מול אויב שאף לא עשה כל צעד מתוכנן כדי להתגבר על מערכי ההגנה.¹⁸

בדומה למה שאירע ל"פטריוט", עלולה כל מערכת הגנה פעילה נגד טילים לעמוד בפני איומים שלא ניתן לשערם מראש. במקרה כזה עלולה התוצאה להיות דומה לזאת של מלחמת המפרץ. יש להבין כי אין דינם של ניסויים, המתבצעים בתנאים מבוקרים, כדין פעולה מבצעית בשדה קרב אמיתי. בניסוי ידועים מראש כל הפרמטרים של מסלול מעופו של טיל המטרה, כולל כיוון הגעתו ועיתויו, זווית הכניסה שלו, מהירותו ומסלולו המדויקים, אבל בשעת מלחמה מופיעים גורמים שאינם נתונים לשליטת המערכת המגנה.

מה שאירע ל"פטריוט" עלול לקרות גם ל"יח"ץ" ול-THAAD. ראוי להדגיש כי המהנדסים המפתחים את הטילים התוקפים למדו גם הם את לקחי מלחמת המפרץ. יש להניח שהטילים הבליסטיים של הדור הבא, אלה שה"יח"ץ יצטרך להתמודד אתם, יהיו בעלי תכונות שיקשו על יירוטם, ואולי אף יהפכו את המשימה לבלתי-אפשרית.

נוסף על פריסת דמייים רבים, שהוזכרה לעיל, ניתן להציב בפני מערכת ההגנה אתגרים נוספים, באמצעות שינוי מבנה של ראשי-הנפץ, כדי שיראה כמו דמה, כך שכולם ייראו דומים, או שכל אחד ייראה אחרת. זאת ניתן לעשות, למשל, על-ידי שימוש ב"בלונים", העשויים מפלסטיק מצופה מתכת. הראש הקרבי יימצא רק בתוך אחד ה"בלונים". טילים מיירטים, המבוססים על הנחיית אינפרא-אדום, לא יוכלו להבחין בין הבלונים הריקים לבין הבלון המכיל את ראשי-הנפץ, משום ששטח הפנים של כל הבלונים, או חלקם, יהיה מחומם לאותה טמפרטורה של הבלון המכיל את ראשי-הנפץ. במקרה זה, ייתכן שלמערכת ההגנה לא תהיה בררה אלא לירות על כל ה"בלונים", דבר בלתי-אפשרי, כנראה, אם מספרם יהיה גדול מאוד, או להסתכן בכך שראשי-הנפץ האמיתי יחדור באין מפריע (תוצאה בלתי נסבלת במקרה של ראשי-נפץ גרעיני).

התוקף יכול גם להעניק לראשי-הנפץ של טיליו תכונות חמיקה (stealth), אשר יקשו עוד יותר על איתורם על-ידי מכ"ם מערכת ההגנה ועל כיוון הטילים המיירטים לעברם. את תכונות החמיקה ניתן להעניק לראשי-הנפץ באמצעות שינוי צורתם, ולהקטין במידה רבה חתימת המכ"ם שלהם, על-ידי ייצורם מחומרים סופגי קרינת מכ"ם, ועל-ידי צביעתם בצבעים סופגי קרינת מכ"ם.¹⁹ כמו כן ניתן לעשות שימוש ב"מוץ". שימוש כזה ייצור ענן מיסוך שיסתיר את ראשי-הנפץ.

יתר על כן, באמצעים פשוטים יחסית ניתן להעניק לראשי-הנפץ גם יכולת תמרון עם כניסתם לאטמוספירה: למשל, באמצעות אסימטריה קלה במשטחי הבקרה של הטיל החוזר לאטמוספירה (בסנפיריו או בגופו).²⁰

¹⁸ ניתוח ביצועי ה"פ-טריט" במלחמה והשל-כותיו על פיתוח מערכת הגנה פעילה, מבוסס על מגוון רחב של מקורות, וביניהם: Theodore A. Postol, "Lessons for SDI from the Gulf War Patriot Experience: A Technical Perspective", עדות לפני ועדת השירותים המזוי-נים של הסנאט, 16 באפריל 1991; Postol, "Lessons of the Gulf War," *International Security*, vol. 16, no. 3, Winter 1991/2, pp. 119-171; George N. Lewis and Theodore A. Postol, "Video Evidence on the Effectiveness of the Patriot During the Gulf War", *Defense and Arms Control Studies*, Cambridge MA, MIT, February 1993; Fetter, Lewis, Gronlund, "Low Scud Casualties", *Nature*, vol. 361, no. 28, January 1993; John Conyers, Jr., "The Patriot Myth: Caveat Emptor," *Arms Control Today*, November 1992; "The Performance of the Patriot Missile System in the Gulf War", עבודת מטה שהוגר-שה לוועדת המשנה לפ-עולות הממשלת בענייני חקיקה וביטחון לאומי, אוקטובר 1992 (טיטוס); ראובן פדחצור, "The Israeli Experience Operating the Patriot During the Gulf War", עדות לפני הוועדה לפעולות הממשל, בית-הנבחרים האמריקני, 7 באפריל 1992; Bob Davis, "Patriot Missile, High-Tech Hero in Gulf, Comes Under Attack as Less than Scud's Worst Enemy", *Wall Street Journal*, 15 April 1991; Jeffrey Smith, "Effectiveness of Patriot Missile Questioned," *Washington Post*, 17 April 1991.

¹⁹ Theodore A. Postol, "Theater Ballistic missile Defense Issues of Relevance to the Security of Small States", Paper presented at Besa Center for Strategic Studies, Bar-Ilan University, Ramat Gan, Israel, April 7, 1994.

Michael A. Dornheim,²⁰ "Missile Defense Design Juggles Complex Factors", *Aviation Week & Space Technology*, February 24, 1997, pp. 54-56; George N. Lewis, "The Vulnerability to Countermeasures of Currently Under Development Ballistic Missile Defenses", מסמך שהוגש בוועידה על הגנה אוויר-רית מורחבת ואיומי טילים בליסטיים ארוכי טווח, The Royal United Services Institute for Defence Studies, Whitehall, London, 17-18 September, 1997.

Postol, "Theater Ballistic missile Defense",²¹ ם.

על-ידי הראש הגרעיני של טיליו שלו עשוי ליצור הרתעה כזאת, שתנטרל לחלוטין את רצון השיגור של המצויד בטילים גרעיניים.

לפיכך, אם צריך לבחור בין סוגים שונים של מערכות הגנה נגד טילים בליסטיים, הרי ההיגיון המבצעי, האסטרטגי ואפילו הכלכלי, מכתוב לפנות לכיוון היירוט בשלב ההאצה (BPI), ולא להשקיע במערכות הגנה פעילות שינסו ליירט את הטילים התוקפים בשלב הסופי של מעופם – שלב הכניסה בחזרה לאטמוספירה ■

מהטילים שהוא משגר יורטו מעל שטחו שלו, יש בכך גורם הרתעתי חשוב. הדבר מקבל משנה תוקף כאשר מדובר בטילים החמושים בראשים לא-קונבנציונליים. החשש מפני השמדת הטיל התוקף מעל אזור השיגור שלו, שתגרום להתפשטות החומרים הכימיים, או הנבגים הביולוגיים באותו האזור, עלולה להוביל להחלטה שלא לשגרם כלל.

שיקול כזה יהיה בעל משמעות רבה עוד יותר כאשר מדובר בתוקף המצויד בטילים גרעיניים. החשש מהיפגעות

את עקרון השמדת הטיל בשלב השיגור (BPI) באמצעות קרני לייזר יישם, לראשונה בתולדות האנושות, ארכימדס בסירקוז, כאשר הצית את ספינות הרומאים בקרן מרוכזת של מראות ענק שהציב על החוף.

כתב-העת **ספקטרום** (גיליון יוני 1997)
במאמר מבוא על טכנולוגיית BPI